

Über Höhlensedimente

Von Robert Lais, Freiburg i. Br.

I. Allgemeine Erläuterungen über Höhlensedimente und ihre Entstehung.

1. Der grobe Kalksteinschutt.
2. Die Sinterbildungen.
3. Die lehmigen Ablagerungen.
4. Der Humusgehalt.

II. Die Sedimente der Höhle St. Brais I.

1. Der Korngrößenaufbau des Schichtprofils.
2. Die Porosität der steinigen Komponenten.
3. Der Kalkgehalt.
4. Die lehmigen Bestandteile der eiszeitlichen und postglazialen Schichten.
5. Der ockergelbe Lehm an der Basis.

III. Ähnliche Schichtprofile aus anderen Höhlen.

1. Vier Höhlen im Basler Jura.
2. Das Schweizersbild bei Schaffhausen.
3. Der Petersfels bei Engen im Badischen Jura.
4. Der Vogelherd bei Stetten ob Lontal im Schwäbischen Jura.
5. Die Höhlen von Mauern im Fränkischen Jura.
6. Eine Höhle am Isteiner Klotz in Südwestbaden.
7. Die Kartsteinhöhle bei Eiserfey in der Eifel.
8. Die Höhlen des Hönnetals in Westfalen.
9. Die Backofen-Höhle in Mähren.
10. Die Potočka-Höhle in Jugoslawien.

IV. Die Sedimente aus dem Wildenmannisloch im Selun (Churfürsten).

1. Der Karbonatgehalt.
2. Die Farben der lehmigen Bestandteile.
3. Der Humusgehalt.

V. Ähnliche Schichtprofile aus anderen Höhlen.

1. Das Drachenloch ob Vättis im Taminatale.
2. Die Wildkirchlihöhle im Säntisgebirge.

VI. Schlußbetrachtungen.

VII. Verzeichnis des benutzten Schrifttums.

Die weitaus größere Mehrzahl aller paläolithischen Funde ist aus dem Boden von Kalksteinhöhlen ausgegraben worden. Wenn auch das Bestreben, die Schichten der Höhlenböden voneinander zu unterscheiden und in ihrer Eigenart darzustellen, aus fast allen Grabungsberichten zu erkennen ist, so treten doch naturgemäß die petrographischen Beschreibungen

gen der Höhlensedimente gegenüber der Darstellung ihres archäologischen und faunistischen Inhaltes sehr stark in den Hintergrund. Leider begegnen wir aber auch bis in die neueste Zeit bei petrographischen Angaben häufig einer sehr unklaren, wenn nicht völlig falschen und irreführenden Ausdrucksweise.

Im Jahre 1932 hatte ich die postglazialen Sedimente einer Höhle am Isteiner Klotz Untersuchungsmethoden unterworfen, die inzwischen weiter ausgebaut werden konnten. 1934 hat Riek den Korngrößenaufbau der Schichten der Vogelherdhöhle und 1939 Utescher schlesische Höhlenlehme nach chemisch-bodenkundlichen Methoden messend untersucht. Diese Verfahren haben sich als sehr aufschlußreich erwiesen. An neuen Beispielen, der Höhle von St. Brais, dem Schweizersbild, Wildenmannsloch und Kartstein sollen meine Untersuchungsmethoden und ihre Ergebnisse in einem größeren Zusammenhang dargestellt werden. Durch Heranziehung anderer Höhlen wird dann gezeigt werden können, daß in ihnen die Sedimentation überall allgemeinen Gesetzen gehorcht und die petrographische Ausbildung der Sedimente als Ausdruck der wechselnden Klimaperioden des Quartärs zu werten ist.

Zum Verständnis der angewendeten Untersuchungsmethode ist es notwendig, einige allgemeine Erläuterungen über Höhlensedimente und ihre Entstehung voranzuschicken.

I. ALLGEMEINE ERLÄUTERUNGEN ÜBER HÖHLESEDIMENTE UND IHRE ENTSTEHUNG

Die wesentlichen Bestandteile der Höhlensedimente sind Kalksteinstücke, die vom Dach und den Wänden der Höhlen stammen, Sinterbildungen und Lehm; dazu kommt manchmal ein gewisser Humusgehalt.

Wir sehen dabei von den Ablagerungen fluviatiler Entstehung, etwa Geröll- oder Lehmmassen ab, die durch kräftige Wasserläufe auf den Höhlenboden getragen worden sind.

1. Der grobe Kalksteinschutt

Der Kalkstein der Wände und Decken einer Höhle ist immer von zahlreichen Rissen durchzogen, die teils bei seiner Sedimentation, teils durch diagenetische Vorgänge, teils tektonisch entstanden sind. Findet innerhalb des Gesteins, das eine Höhle umschließt, kein Schichtwechsel statt, so darf die Art und Verteilung der Klüfte als ungefähr gleichartig betrachtet

werden. Wir sehen dabei natürlich von den Spalten ab, die durch Korrosion oder andere Vorgänge nachträglich eine bedeutende Erweiterung erfahren haben.

Die Ablösung einzelner Kalksteinstücke vom Dach und von den Wänden einer Höhle hat zwei Ursachen:

a) die Erweiterung der Risse und Spalten durch die auflösende Wirkung des durch das Höhlendach tretenden Wassers. Ist diese bis zu einem gewissen Maß fortgeschritten, so verliert das Gesteinsstück seinen Zusammenhalt mit der Decke. Aus dem Höhlendach werden bei diesem Vorgang erhebliche Mengen von Kalk herausgelöst, die bei der Verdunstung des Wassers auf dem Höhlenboden wieder ausgeschieden werden. Auch andere, tonige oder sandige Bestandteile, die der Kalk immer, wenn auch häufig nur in geringer Menge enthält, werden auf diese Art frei gemacht und auf dem Höhlenboden abgesetzt. Dieser ganze Lösungsvorgang setzt das Durchtreten erheblicher Wassermengen durch das Höhlendach, also ein niederschlagsreiches Klima voraus. Da die Eiszeiten kalt-aride Perioden waren, kann er nur während der Interglazialzeiten oder in der Postglazialzeit erfolgt sein.

Kalksteinstücke, die durch derartige Vorgänge vom Höhlendach abgelöst worden sind, zeigen häufig Korrosionserscheinungen, oberflächliche Auslaugung, Anätzungen und schwach abgerundete Kanten. Sie sind in meist spärlicher Menge sinterigen oder lehmigen Massen eingebettet.

b) Die zweite Ursache ist der Spaltenfrost. Das in den Spalten sitzende Wasser sprengt infolge seiner Volumvergrößerung beim Gefrieren die Kalksteinstücke aus ihrem Verband heraus; sie fallen dann beim Auftauen des Wassers herab. Dieser Vorgang fordert nur geringe Wassermengen, aber einen häufigen Wechsel von Temperaturen über und unter dem Gefrierpunkt. Wie weit diese Bildung von sogenanntem Frostbruch ins Innere einer Höhle reicht, hängt einmal von der Stärke und Dauer des Frostes, zum andern von der Durchlüftung der Höhle ab. Unter dem heutigen gemäßigten Klima sind in Mitteleuropa nur die äußeren Felswände, nicht aber die Höhlen der Sprengwirkung des Frostes ausgesetzt, während diese in den Eiszeiten je nach ihrer Stärke und Dauer auch das Innere der Höhlen mehr oder weniger weit erfaßte. Heute zeigt vielfach das Innere der Höhlen ganz andere Verwitterungsformen als die einem häufigen und oft raschen Temperaturwechsel ausgesetzten Felswände: am Keßlerloch beobachtet man z. B. am Höhlendach eine auffallende

Rundung aller kleinen Gesteinsvorsprünge, also lediglich die Wirkung von Lösungsvorgängen, während die Felswände außerhalb der Höhle unter dem Einfluß des winterlichen Spaltenfrostes eine eckig und scharfkantig zerrissene Oberfläche zeigen.

Natürlich sind Art und Stärke der Wetterführung von beträchtlichem Einfluß darauf, wie weit sich die Wirkung des Spaltenfrostes ins Innere einer Höhle erstreckt. Es kann aber festgestellt werden, daß nur während der Eiszeiten innerhalb der Höhlen bedeutende Mengen von Frostbruchschutt entstanden. Damals waren die Bedingungen für seine Bildung vor allem in den nicht vereisten Gebieten gegeben, wo in den Übergangszeiten ein häufiger Wechsel zwischen Gefrieren und Auftauen stattfand. Anhaltender Dauerfrost mußte naturgemäß jede Schuttbildung verhindern. Auch während der trockenen Eiszeiten war offenbar in den Spalten der Höhlendächer soviel Wasser vorhanden, daß die Sprengwirkung des Spaltenfrostes eintreten konnte.

Innerhalb ein und derselben Höhle zeigen die Frostbruchschichten nicht selten deutliche Unterschiede in der Durchschnittsgröße der Gesteinsbruchstücke. Riek hat dies z. B. in der Vogelherdhöhle im Lontal beobachtet (1934). Hier besteht die Frostbruchstrate der Würm-I-Zeit aus grobstückigem Kalkschutt, während die des Würm II (Magdalénien) aus „feinsplitterigem Kalkschutt“ besteht. Zwischen sie schalten sich die Ablagerungen des Aurignaciens ein, die aus noch kleineren Kalkstücken aufgebaut sind, so daß folgendes Profil festgestellt werden konnte¹⁾:

Kulturstufe	Frostbruchschicht	Zeitstellung
Höheres } Tieferes } Magdalénien	mittelstückig	2. Hauptvorstoß (Würm II + Würm III)
Oberes Aurignacien	kleinstückig	Hauptschwankung (Würm I/II)
Mittleres Aurignacien	sehr kleinstückig	
Unteres Aurignacien	kleinstückig	
Moustérien, Jung-Acheuléen	grobstückig	1. Hauptvorstoß (Würm I)

Riek hat die Korngrößenverringering, die im mittleren Aurignacien ihren Höhepunkt erreicht, mit einer damals erfolgten Abschwächung des eiszeitlichen Klimacharakters erklärt, und auch Koby hat einen in seiner Höhle St. Brais I in den tieferen Höhlenschuttsschichten sichtbaren drei-

¹⁾ Hier sind teilweise statt der nicht sehr glücklichen Benennungen Rieks andere gewählt.

maligen Wechsel gröberer und feineren Materials mit dem dreifachen Vorstoß des Eises während der letzten Eiszeit in Verbindung gebracht (1938).

Meines Wissens ist bisher noch nicht versucht worden, diesen Zusammenhang zu erklären.

Es liegt zunächst nahe, daran zu denken, daß der häufige Wechsel von Gefrieren und Auftauen, der vor und nach den Höhepunkten der Vereisungen eintreten mußte, an der stärkeren Zerstückelung des Gesteins schuld wäre. Diese Erklärung befriedigt jedoch nicht, wenn wir nicht voraussetzen, daß die Interstadialzeiten nicht nur Zeiten geringerer Kälte sondern gleichzeitig auch etwas größerer Feuchtigkeit gewesen seien.

Nehmen wir an, ein von einem Netz feiner Risse durchzogener Gesteinskörper enthalte nur geringe Wassermengen, so wird dieses Wasser sich in den Rissen, die seinem Durchgang den geringsten Widerstand entgegensetzen, in größerer Menge sammeln als in den übrigen; das Netz der Risse, von denen eine Frostsprengung ausgehen kann, wird weitmaschig sein und es werden große Gesteinsstücke abgesprengt werden. Enthält der gleiche Gesteinskörper aber eine größere Wassermenge, so werden auch die übrigen Risse mit soviel Wasser erfüllt sein, daß von ihnen eine Sprengwirkung ausgehen kann, das heißt, es wird eine stärkere Zerstückelung des Schuttes erfolgen müssen.

Die durch Frostsprengung abgelösten Kalksteinstücke sind eckig und splitterig. Sie zeigen keinerlei Abwitterungs- und Korrosionsspuren, Anätzungen oder Auslaugung. Sie sind meist lose aufeinandergepackt und daher leicht beweglich. Es finden sich keine harten Sinterkrusten oder mehlig-bröckeliger Sintergrus. Dem Grobschutt fehlen alle Merkmale dafür, daß während der Zeit seiner Bildung ein anderes als trockenes Klima geherrscht hätte.

2. Die Sinterbildungen

Es kann zwischen harten kristallinen, mehr oder weniger durchscheinenden Sintermassen und weichen zerreiblichen kreidigen, staubfeinen bis krümeligen Bildungen unterschieden werden. Zur zweiten Art gehören auch die lehmähnlich kompakten Sintermassen, die von E. Bächler in zwei alpinen Höhlen, dem Drachenloch und Wildenmannsloch, festgestellt worden sind.

Aller Sinter ist kohlen-saurer Kalk, der sich aus dem Tropf- und Sickerwasser der Höhlen ausgeschieden hat. Die lockeren kreidigen Sintermassen

können natürlich auch Körnchen von Kalkkarbonat enthalten, die beim Durchtreten des Wassers durch das Höhlengestein ungelöst geblieben waren und mit dem Tropfwasser dem Höhlenboden zugeführt worden sind.

Die Menge des Sinters hängt im wesentlichen von der Konzentration des Sickerwassers und dem Ausmaß seiner Verdunstung ab.

Ist eine Kalklösung völlig oder nahezu gesättigt, so genügt die Verdunstung einer sehr geringen Wassermenge, um den Kalk zur Ausscheidung zu bringen; ist die Lösung aber sehr wenig konzentriert, so muß sehr viel Wasser verdunsten, ehe überhaupt die Ausscheidung des Kalkes beginnen kann. Gesättigte Kalklösungen werden dann entstehen, wenn geringe Wassermengen langsam durch das Höhlengestein sickern, schwache Lösungen, wenn große Wassermengen schnell durchtreten. (Dabei wird natürlich von der Rolle, die der Kohlendioxydgehalt und die Temperatur des Wassers spielen, abgesehen.) In gut durchlüfteten Höhlen und in den vordersten Teilen aller weit offenen Höhlen wird die Verdunstung immer so erheblich sein, daß nicht nur aus gesättigten sondern auch aus schwachen Lösungen der Kalk ausfallen wird. Unter solchen Umständen muß das Auftreten erheblicher Sintermengen als Beweis dafür gelten, daß beträchtliche Wassermengen durch das Höhlendach getreten sind. Es darf in diesem Fall auf die regenreiche Zeit einer postglazialen oder interglazialen Periode geschlossen werden. Eiszeitlicher Frostbruchschutt enthält keinen Sintergrus.

Entgegengesetzt liegen die Verhältnisse dann, wenn die Höhlenluft nur schwach bewegt ist, also vor allem in den hinteren Teilen enger Schläuche, die keine zweite Tagöffnung haben. Treten hier Sinterbildungen auf, so können sie bei der geringen Verdunstung des Wassers nur aus starken oder gesättigten Lösungen ausgeschieden worden sein. Es können also zur Zeit ihrer Bildung nur geringe Wassermengen langsam durch das Höhlengestein gedrungen sein, und es muß auf eine sehr regenarme Zeit, also auf ein warmarides oder kaltarides Klima geschlossen werden. In Mitteleuropa kann es sich dabei nur um ein eiszeitliches Klima gehandelt haben.

3. Die lehmigen Bestandteile

Lehmige Massen sind am Aufbau der Höhlenablagerungen fast immer stark beteiligt. Sie können auf sehr verschiedene Art entstanden sein. Dabei bestehen für die vordersten Teile weitoffener Höhlen andere Möglichkeiten als für die hinteren Höhlenteile.

a) Lehmige Massen in den vordersten Teilen weitoffener Höhlen

1. Von Schuttkegeln, die sich vor dem Eingang über das Niveau der Höhlensohle erheben, kann durch den Regen lehmiges Material in die Höhle eingeschwemmt werden.

2. In Frostbruchschichten, die sich während des trocken-kalten eiszeitlichen Klimas gebildet haben, stellen wir häufig einen nicht unbeträchtlichen Lehmgehalt fest. Da der mangelnde Sintergehalt beweist, daß kein Wasser durch das Höhlendach getreten sein kann, bleibt nur die Möglichkeit, äolische Zufuhr der lehmigen Bestandteile anzunehmen. Wir sehen daher im Lehmgehalt des eiszeitlichen Grobschuttes die Ablagerung feinen und feinsten Staubes, der in die Höhlen eingeweht worden ist. Wenn heute niemand mehr daran zweifelt, daß während der Eiszeiten der Löß als ein in der Hauptsache durchaus nicht staubfeiner Sand viele Kilometer weit durch die Luft getragen wurde, dann muß auch die Möglichkeit zugegeben werden, daß allerfeinster Staub in geringeren Mengen über größere Strecken und in bedeutendere Höhen verweht wurde. Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Tatsache, daß während der Höhepunkte der Vereisungen weite Strecken vegetationslos oder nur dürftig bewachsen waren, und die häufigen Fröste das Zerfriren des Bodens bewirkten und damit die Bildung feinen Staubes außerordentlich förderten. Die hellgelbe Färbung des Lösses ist ein Charakteristikum eiszeitlicher Verwitterung (Soergel 1919). Der Lehmgehalt eiszeitlicher Frostbruchmassen zeigt sehr häufig die gleiche Farbe. So unterlagert „gelbweißer“ feinsplittiger Kalkschutt die Magdalénienschichten des Vogelherdes (Riek 1934), gelb ist auch die Kulturschicht des Magdaléniens im Keßlerloch, lößfarben der Frostbruch der Höhle von St. Brais usw.

Die Möglichkeit, daß auch während anderer Klimaperioden feiner Staub in offene Höhlen eingeweht wurde, besteht durchaus. Für die postglazialen Sedimente einer Höhle am Isteiner Klotz habe ich den Beweis dafür schon vor Jahren erbringen können (Lais 1932). Schon vorher hatte Deecke (1930) auf die Bedeutung hingewiesen, die eingewehtem Staub für die Bildung von Höhlensedimenten zukommt. Deecke glaubt eine verhältnismäßig scharfe Trennung in Kalkschutthöhlen und Höhlen mit vorwiegend lehmiger Füllung vornehmen zu können, die durch die Lage der Höhleneingänge bedingt sei. Die nach Westen, Süden und Südosten offenen Höhlen des Alpenvorlandes sollen vorwiegend lehmige Ablage-

rungen, eingewehten Staub, die übrigen vorwiegend kalkigen Verwitterungsschutt enthalten. Ich kann mich dieser Meinung nicht anschließen. Auf Grund meiner eigenen Beobachtungen muß ich vielmehr feststellen, daß die beiden Arten von Ablagerungen in ein und derselben Schicht zusammen oder in ein und derselben Höhle übereinander vorkommen können, daß der Kalkschutt als eiszeitlicher Frostbruch, die vorwiegend lehmigen Schichten als Bildungen interglazialen oder postglazialen Alters aufzufassen sind. Es ist unmöglich, in den vordersten Höhlenteilen, wo die Verdunstung immer sehr stark ist, die lehmigen Ablagerungen ausschließlich als Verwitterungsprodukt des Höhlengesteins zu deuten.

Natürlich enthält das vom Höhlendach herabtropfende Wasser nicht nur gelöstes Kalkkarbonat sondern auch die unlöslichen tonigen und sandigen Bestandteile des Höhlengesteins, die oft einen nicht unbeträchtlichen Anteil ausmachen.

Wird der Kalkgehalt des Tropfwassers infolge starker Verdunstung restlos auf dem Höhlenboden ausgeschieden, so enthält der entstehende Sinter auch alle ungelöst gebliebenen Bestandteile des Höhlengesteins. Es findet also bei diesem Vorgang lediglich eine Verlagerung des Materials vom Muttergestein zum Höhlenboden, aber keine Anreicherung der lehmigen Bestandteile und erst recht keine Bildung lehmiger Ablagerungen statt.

b) Lehmige Ablagerungen in den hinteren Höhlenteilen

In den hinteren Höhlenteilen, wo die Verdunstung immer verhältnismäßig gering ist, wird aus reichlich durchtretendem Wasser nur wenig oder gar kein Kalk ausgeschieden. Hier werden sich auf ebenem oder schwach geneigtem Boden die mitgeführten festen Teilchen lehmiger oder sandiger Natur absetzen, während das kalkhaltige Wasser oberflächlich oder durch die liegenden Schichten abfließt. Je nach dem Ausmaß der Verdunstung werden die abgesetzten lehmigen Massen einen geringeren oder größeren Kalkgehalt haben. Von diesem abgesehen müßten sie in ihrer chemischen Zusammensetzung und daher auch der Farbe mit den unlöslichen Bestandteilen des Muttergesteins übereinstimmen.

Tatsächlich kann diese Übereinstimmung nur selten festgestellt werden. Während die Kalke meist weiß oder grau gefärbt sind, erscheinen die Lehmbildungen gelb, braun oder rotbraun. Ihre Färbung ist auf weitere Zersetzungs Vorgänge zurückzuführen, die den Eisenoxyd- und Eisen-

hydroxydgehalt des Kalkes betroffen haben. Man weiß, daß an der Erdoberfläche durch die Verwitterung der Kalke eine gelbbraun oder rotbraun gefärbte Lehmdecke entsteht oder entstanden ist, je nachdem die regelmäßig erreichten hochsommerlichen Bodentemperaturen niedrig oder hoch lagen. Innerhalb der Höhlen bleiben jedoch, auch unmittelbar hinter dem Eingang, die Bodentemperaturen sehr weit hinter den im Freien unter der Wirkung der Sonnenstrahlung erreichten Temperaturen zurück, und in ihren rückwärtigen Teilen schwanken die Temperaturen nur noch sehr wenig um einen tiefliegenden Mittelwert. Unter diesen Umständen ist innerhalb der Höhlen selbst eine Gelbverwitterung kaum denkbar und die Entstehung rötlicher Farben völlig ausgeschlossen.

Wir sind daher zu der Annahme gezwungen, daß die gelb bis rotbraun gefärbten lehmigen Ablagerungen in den Höhlen von der Oberfläche her mit dem Sickerwasser auf den Höhlenboden geschwemmt worden sind²⁾. Sie stellen also äußerst wichtige Zeugen für die Art der Verwitterung dar, die ehemals auf der Oberfläche über den Höhlen geherrscht hat. Innerhalb der Höhlen sind diese Lehmabsätze keiner späteren Verwitterung mehr ausgesetzt gewesen. Daher haben sie hier ihre ursprüngliche Farbe behalten, während an der Erdoberfläche die Verwitterung späterer Zeiten sie meist sehr stark verändert hat.

Es muß schließlich auch noch auf die Möglichkeit hingewiesen werden, daß der Mensch und höhlenbewohnende Großtiere, vor allem der Höhlenbär, an ihren Sohlen nicht unbeträchtliche Mengen von Lehm in die Höhlen eingeschleppt haben. Sie verraten ihre Entstehung durch ihren Gehalt an gröberen Mineralkörnern, die dem Höhlengestein sonst fremd sind. Falls ihre Entstehung sicher ist, sind sie wertvolle Zeugen für die Art der Verwitterung, die zur Zeit ihrer Entstehung an der Oberfläche geherrscht hat.

4. Der Humusgehalt

In manchen Höhlensedimenten steckt ein nicht unerheblicher Humusgehalt. Dieser läßt sich durch Kochen einer kleinen Menge des Sedimentes in starker Natronlauge lösen und kolorimetrisch bestimmen. (E. Melin u. S. Odén, 1917.)

²⁾ Häufig werden gerade die gelb bis rotbraun gefärbten Lehmablagerungen auf den Höhlenböden „Höhlenlehm“ oder sogar „echter Höhlenlehm“ genannt, obwohl es sich um völlig unechten Höhlenlehm handelt. Die nichtssagende oder falsche Bezeichnung Höhlenlehm sollte aufgegeben werden.

Viel Humussubstanzen enthalten vor allem die dunkel gefärbten Kulturschichten. Sie rühren offenbar von der Zersetzung pflanzlicher Stoffe, Laub, Heu, Holz und Früchten her, die der vorgeschichtliche Mensch eingebracht hat. Auch durch Tiere können pflanzliche Stoffe eingeschleppt worden sein.

Es besteht ferner die Möglichkeit, daß Humussubstanzen mit dem Sickerwasser aus der Vegetationsdecke über dem Höhlendach auf den Höhlenboden abgesetzt worden sind. Wenn der sichere Nachweis erbracht werden kann, daß der Humusgehalt der untersuchten Schichten keinen andern Ursprung hat, dann lassen sich aus den wechselnden Humusgehalten wichtige Schlüsse über die ehemalige Vegetationsdecke der Felsoberfläche ziehen. Es muß dabei allerdings noch die Tatsache berücksichtigt werden, daß die in den Sedimenten eingelagerten Humussubstanzen nachträglich einen gewissen Abbau erfahren haben können. Außerhalb der Höhlen scheint dieser sehr erheblich gewesen zu sein; denn es sind z. B. die Verlehmungszonen des älteren Lösses, die ursprünglich sicher eine geschlossene Pflanzendecke getragen haben, jetzt im allgemeinen frei von Humussubstanzen.

II. DIE SEDIMENTE DER HÖHLE ST. BRAIS I

Die Höhle, deren Sedimente hier beschrieben und gedeutet werden sollen, ist von F. Ed. Koby untersucht (Koby 1938).

Diese Höhlen liegen in den Franches Montagnes am Fuß der Rauracienfelsen, über die die Grenze zwischen den Gemeinden St. Brais und Glovelier läuft. St. Brais I ist die östlichste von drei auf eine Strecke von etwa 400 m verteilten Höhlen. Ihre Meereshöhe beträgt etwa 970 m, der Eingang schaut nach Süden. Unter ihr fließt in einer mehrere hundert Meter tief eingeschnittenen Schlucht der Tabeillon zur Sorne, die sich in die Birs ergießt. Keine der diluvialen Vereisungen hat bis in das Gebiet unserer Höhle gereicht. Die Grenze der Reißvereisung geht in etwa 7 km, die der Würmvereisung in etwa 20 km Abstand vorbei.

Die Wände der Höhle bestehen aus gelblichweißem Rauracienkalk. Sie sind stellenweise von mehr oder weniger erhärtetem Kalksinter überzogen. Am Aufbau des Bodens sind in der Hauptsache vom Dach und von den Wänden abgebrochene Kalksteinstücke, lehmige Massen und Sinterbildungen beteiligt. Die Mächtigkeit dieser Ablagerungen konnte inner-

halb der von Koby ausgegrabenen Teile zu 0,6 bis 2 m bestimmt werden. Sie ist naturgemäß von der Weite der Höhle abhängig.

Die Ausgrabungen Kobys haben folgende Schichten erschlossen:

Zu unterst liegt auf dem Kalk der Höhlensohle ein ockergelber, stellenweise schwach rötlicher Lehm. Er füllt natürliche Vertiefungen des Bodens hinter kleinen Felsschwellen aus und beginnt erst etwa 3,5 m hinter dem Höhleneingang. Nach den Untersuchungen von Werenfels (siehe Koby, 1938, S. 143) enthält der Lehm eine ganze Anzahl von Mineralien, die dem Rauracienkalk fremd sind. Ein Teil von ihnen stammt sicher aus tertiären Ablagerungen, die ehemals den Malm bedeckt hatten, jetzt aber fehlen oder noch nicht bekannt sind. An einer Stelle, am Eingang der Kammer II, wurden deutlich abgerollte Stücke von Rauracienkalk und auch größere Blöcke des sog. Daubréeschen Konglomerates gefunden. Der Lehm muß von außen durch die größeren Spalten und Klüfte in die Höhle eingeschwemmt worden sein. Während seiner Ablagerung erfolgte eine nur bescheidene Verwitterung der Höhlenwände, denn er enthält nur geringe Mengen kreidig-poröser Rauracienstücke.

Über dem gelben Lehm oder, wo dieser fehlt, über dem anstehenden Fels liegt die sogenannte Höhlenbärenschiebt (terre à ours), die zahlreiche Knochen und Zähne des Höhlenbären lieferte. Sie besteht in manchen Lagen größtenteils aus Rauracienkalkstücken, anderwärts aus einer braunen leicht zerbröckelnden Erde, deren Farbe von einem nicht sehr erheblichen Gehalt an Phosphaten (bis zu 6% P_2O_5) herrührt. In den vorderen Teilen der Höhle geht die Höhlenbärenschiebt in einen aus eckigen Kalkstücken bestehenden Schutt über, der ebenfalls noch Reste des Höhlenbären führt.

Die obersten Schichten enthalten reichliche Sintermengen, so daß sie als terres oder couches tufacées bezeichnet werden. Es handelt sich dabei meist um kolloidal in Form kreidiger Bergmilch (Montmilch) ausgeschiedene, selten um harte kristalline Massen.

Im Anschluß an die Feststellungen Kobys wurde der Versuch gemacht, die Schichten der Höhle einer genaueren Untersuchung zu unterwerfen und damit eine geologische Bestimmung ihres Alters zu gewinnen.

Eine erste, unmittelbar hinter dem Höhleneingang erfolgte Entnahme von Gesteinsproben lehrte, daß dies durchaus möglich war; da hier aber ein großer in jüngerer Zeit von der Decke herabgefallener Gesteinsblock

die Schichtenfolge in ihren oberen Teilen gestört hatte, ergaben sich für das Postglazial keine völlig klaren Schlüsse. Es wurde daher weiter hinten, in 3,30 m Entfernung vom Eingang, eine zweite Probenserie entnommen und auf ihre Zusammensetzung genau untersucht. An dieser Stelle war das Profil durch eingeschaltete Kulturschichten bronzzeitlichen, neolithischen und jungpaläolithischen (Magdalénien?) Alters reich gegliedert. Der gelbe Lehm fehlte hier.

Die Entnahmepunkte richteten sich natürlich nach dem Auftreten der einzelnen durch Färbung und Zusammensetzung unterschiedenen Schichten. Sie haben daher nicht immer gleiche Abstände. Es wurden insgesamt 12 Proben entnommen. Ihre Lage ist aus den graphischen Darstellungen ersichtlich. Probe b entstammt der bronzzeitlichen, e der neolithischen und g der jungpaläolithischen Kulturschicht.

1. Der Korngrößenaufbau des Schichtprofils

In der Höhle selbst wurde auf einem Lochsieb von 10 mm Weite eine jeweils gleiche Materialmenge von 2400 cm³ in einen gröberen und feineren Anteil getrennt und das Volumen des feineren Anteils unmittelbar, das des gröberen als Differenz bestimmt³⁾.

Es enthielten an Steinen von mehr als 10 mm Größe:

a	20,0%	h	23,2%
b	22,5% (Bronzzeit.)	i	18,7%
c	34,7%	k	68,8%
d	33,3%	l	91,2%
e	29,1% (Neolith.)	m	84,2%
f	31,2%	n	0,0%
g	18,7% (Magdalénien)		

(Probe n ist der liegenden Lehmschicht in 5 m Entfernung vom Höhleneingang entnommen.)

Die nach der Ablagerung des Lehms gebildeten Schichten enthalten in ihrem tiefsten Teil (Proben k, l, m) grobes Material in überwiegender Menge; der Gehalt an Steinen bleibt dann bis in die Magdalénienschicht sehr gering, steigt dann wieder etwas an und sinkt von der Bronzezeit bis zur Gegenwart wieder auf geringe Werte ab. (Vgl. Abb. 1.)

³⁾ Herr Dr. KOPY hat mir diese Untersuchung durch seine liebenswürdige Gastfreundschaft ermöglicht und mich dadurch zu größtem Dank verpflichtet. Auch Frl. Dr. E. SCHMID in Bonn danke ich für ihre freundliche Hilfe bei der Entnahme und Untersuchung der Proben.

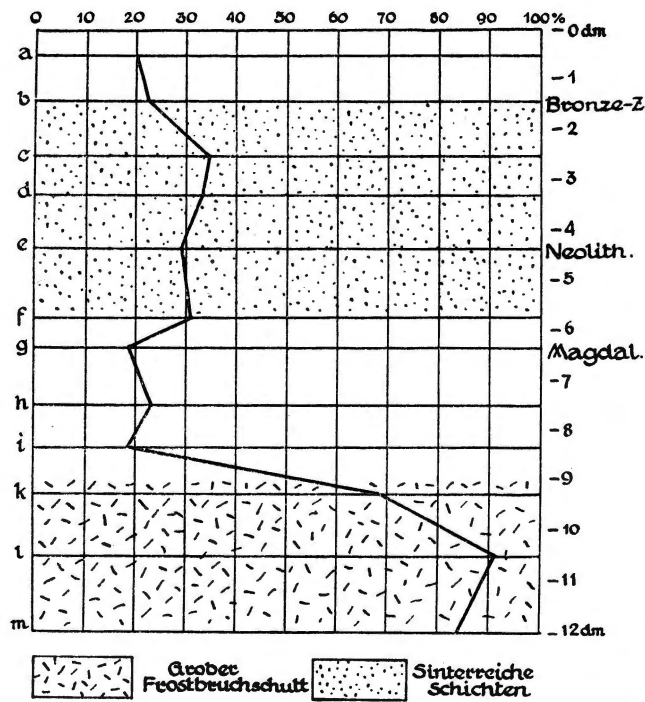


Abb. 1. Sedimente der Höhle St. Brais I. Anteil der Kalksteinstücke von $> 10 \text{ mm } \varnothing$.

die einzelnen Korngrößen folgende Anteile (in %):

Probe	5—10 mm	4—5 mm	3—4 mm	2—3 mm	1—2 mm	0,5—1 mm	< 0,5 mm
a	10,4	2,7	3,6	1,6	6,2	5,0	70,5
b	10,5	2,4	3,0	1,1	5,8	5,6	71,6
c	15,6	4,2	4,9	2,2	8,8	6,8	57,6
d	5,9	2,0	2,9	1,4	7,8	8,9	71,1
e	12,5	4,9	5,6	2,9	11,8	7,8	54,5
f	21,5	4,8	4,9	2,9	9,6	6,7	49,6
g	18,5	6,2	6,4	2,3	8,9	5,6	52,1
h	21,5	7,5	5,8	3,1	9,8	4,8	47,5
i	27,5	7,2	7,6	2,3	9,6	4,5	41,3
k	29,3	8,1	7,6	3,2	11,6	4,9	35,3
l	42,1	8,1	8,1	2,9	9,3	4,3	25,2
m	51,1	10,7	7,7	2,8	8,4	2,4	16,9
n	0,0	0,0	0,0	0,0	0,03		99,97

Der Korngröbenaufbau des Materials von weniger als $10 \text{ mm } \varnothing$ und seine graphische Darstellung (Abb. 2), lassen übereinstimmend mit dem oben ermittelten Gehalt an Steinchen von mehr als $10 \text{ mm } \varnothing$ in den

Das Material von weniger als 10 mm Korngröße wurde einer weiteren Korngrößentrennung unterworfen. Es wurde in 7 Größenklassen: $5-10 \text{ mm}$, $4-5 \text{ mm}$, $3-4 \text{ mm}$, $2-3 \text{ mm}$, $1-2 \text{ mm}$, $0,5-1 \text{ mm}$ und $< 0,5 \text{ mm}$ aufgeteilt. Zu diesem Zweck wurden lufttrockene Mengen im Gewicht von 250 bis 1000 g mit viel Wasser etwa 10 Minuten langgekocht und dann auf einem $\frac{1}{2} \text{ mm}$ -Drahtsieb durchgeschlämmt. Der Rückstand wurde getrocknet und auf entsprechenden Lochsieben weiter getrennt. Es ergaben sich für

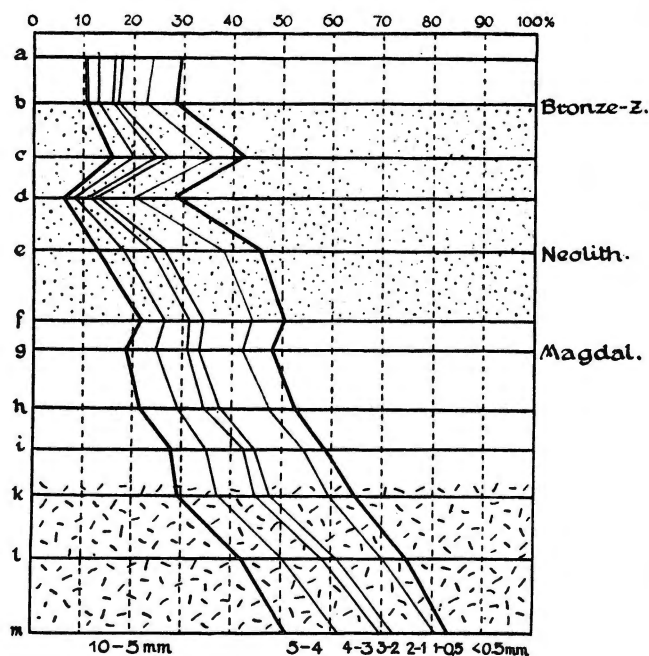


Abb. 2. Sedimente der Höhle St. Brais I.
Korngrößenaufbau des Materials von $< 10\text{ mm}</math>.$

unteren Proben m bis k einen Gehalt an grobem Material erkennen, wie er später nie wieder erreicht wird. Im Material von weniger als $10\text{ mm}</math> findet aber im Gegensatz zu der Menge an größeren Steinen (von mehr als $10\text{ mm}</math>) eine allmähliche und stetige Verringerung der groben Anteile bis in das Magdalénien hinein statt. Im ganzen muß auch von g ab bis zur Oberfläche hin eine weitere Verringerung der groben Anteile festgestellt werden. Im einzelnen ist das Bild innerhalb der Schichten f bis a dadurch unregelmäßiger, daß die groben Anteile von mehr als $0,5\text{ mm}</math> nicht nur aus Rauracienkalksplintern sondern auch aus Sintergrusstückchen bestehen, die je nach dem Grad ihrer Verbackung einen wechselnden Anteil nehmen.$$$

Wichtig sind fernerhin folgende Tatsachen:

Die graphische Darstellung der Abbildung 2 lehrt, daß sich ein bis in alle Einzelheiten gleiches Kurvenbild ergeben hätte, wenn eine andere KorngröÙeneinteilung gewählt worden wäre, wenn etwa das gesamte Material in zwei Anteile von $10-2\text{ mm}</math> und $< 2\text{ mm}</math> oder von 10 bis $0,5\text{ mm}</math> und $< 0,5\text{ mm}</math> getrennt worden wäre.$$$$

Aus den in der Tabelle wiedergegebenen Zahlen läßt sich ferner entnehmen, daß die Kurven der gröÙeren Anteile den gleichen Verlauf auch dann zeigen, wenn nur relativ feines Material untersucht wird. Entfernt man z. B. die Steinchen von $5-10\text{ mm}</math> und bestimmt den Anteil, den die Menge der Körner von $5-4\text{ mm}</math> an der verbleibenden Gesamtmenge nehmen, so erhält man das Bild der Abbildung 3 A, das in fast allen Einzelheiten dem Bild der Abbildung 2 entspricht. Dies gilt auch noch dann, wenn nur das Material von weniger als $2\text{ mm}</math> untersucht wird.$$$

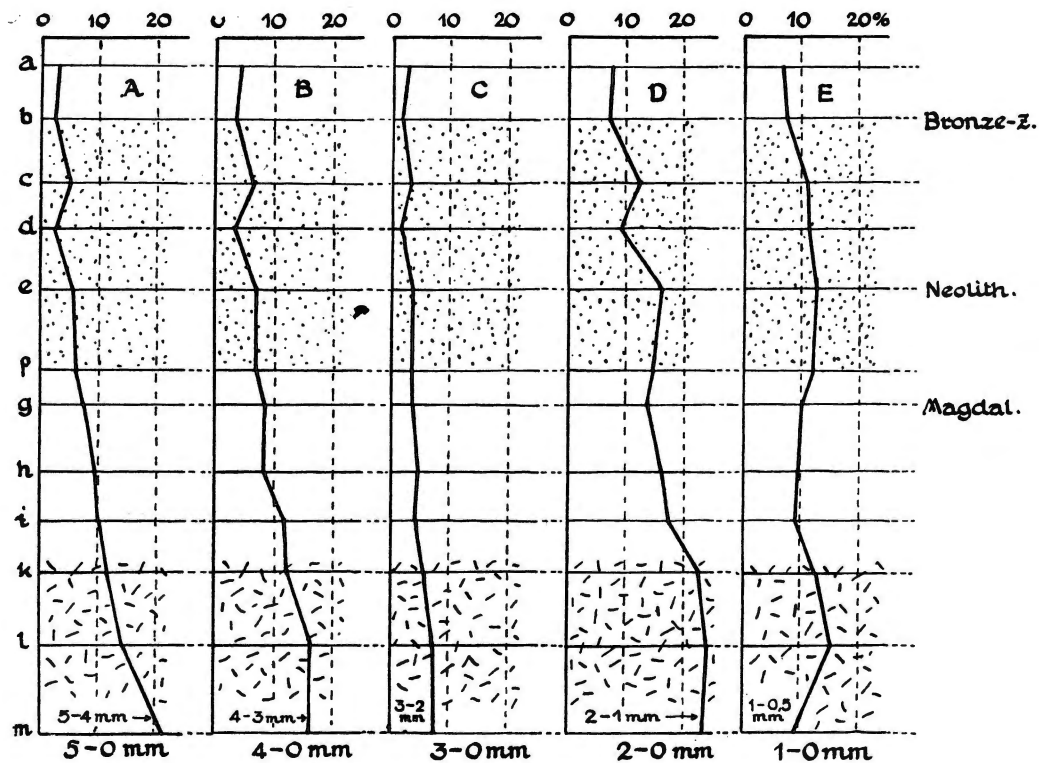


Abb. 3. Sedimente der Höhle St. Brais I.

Korngrößenaufbau des Materials A von 5-0 mm \emptyset , B von 4-0 mm \emptyset , C von 3-0 mm \emptyset , D von 2-0 mm \emptyset , E von 1-0 mm \emptyset .

Erst dann, wenn die Untersuchung auf Korngrößen von weniger als 1 mm \emptyset beschränkt wird, ist das bisherige Kurvenbild nicht mehr erkennbar.

Die ermittelten Zahlen lehren, daß der Korngrößenaufbau der einzelnen Schichten wider alles Erwarten gesetzmäßig erfolgt, daß also dem Zufall die Bedeutung nicht zukommt, die man ihm zuzuschreiben geneigt sein könnte.

Für die anzuwendenden Untersuchungsmethoden ergibt sich folgendes als zweckmäßig: 1. an Ort und Stelle ist eine Bestimmung des Anteils an Steinen von mehr als 10 mm \emptyset vorzunehmen; 2. im Laboratorium ist das Material von weniger als 10 mm \emptyset in zwei Anteile, am besten von 10 mm bis 0,5 mm \emptyset und von weniger als 0,5 mm \emptyset zu trennen. Hierzu genügen jeweils etwa 500 g Material.

Auf Grund der vorausgeschickten allgemeinen Ausführungen über die Entstehung von Höhlensedimenten ergibt sich folgende Deutung des ermittelten Korngrößenaufbaues:

Die reichliche Menge von grobem Material (Kalksteinstücke von mehr als 10 mm \varnothing) und der entsprechend geringe Gehalt an feinen in der Hauptsache lehmigen Bestandteilen in den Proben m, l und k lehren, daß es sich hier nur um Frostbruchschutt, also eine eiszeitliche Bildung handeln kann. Der Anfall grobstückigen Schuttes nimmt von k nach i rasch und sehr erheblich ab; die Lieferung feinsplittiger Schuttes geht aber noch bis in die Probe g hinein weiter (Abb. 2). Anzeichen dafür, daß erheblichere Mengen von Tropfwasser durch das Höhlendach getreten sind, finden sich erst in den darauffolgenden Proben f bis b in Form von Sintergrus. Sein Auftreten ist von einer reichlichen Beimengung grober Kalksteinstücke begleitet (Abb. 1), die mit der Auflösung des Kalks im Höhlendach zusammenhängt. Feinere Rauracienkalksplitter sind hier infolge der lösenden Tätigkeit des Wassers naturgemäß nur spärlich vertreten (Abb. 2). In den Oberflächenschichten b und a treten diese Kalksteinstücke und in a auch der Sintergrus stark zurück, da sie der Einwirkung der von der Oberfläche her wirkenden Verwitterung zum Opfer gefallen sind.

Aus dem Korngrößenaufbau läßt sich demnach der gleiche Klimablauf erschließen, wie er auf Grund anderer Tatsachen für den von der Würmeiszeit bis zur Gegenwart verflonnenen Zeitraum ermittelt werden konnte. Die tiefsten Grob- und Mittelschichten entsprechen dem Hochstand einer Vereisung mit einem kalten und sehr trockenen Klima. Bis in das Magdalénien hinein herrschen niedere Temperaturen bei etwas stärkerer Durchfeuchtung des Höhlendaches. Dann folgt das wärmere und niederschlagsreiche Klima der späteren Postglazialzeit, dessen anderweitig festgestellte Schwankungen sich hier, unter dem schützenden Dach der Höhle, nur noch wenig auswirken.

2. Die Porosität der steinigen Komponenten

Für die Beurteilung der durch das Höhlendach und die Höhlensedimente erfolgten Wasserdurchfuhr ist die Bestimmung der Porosität der Kalksteinstückchen wichtig, die in den Höhlensedimenten enthalten sind. Es wurden hierzu die Wasserkapazitäten der beiden Fraktionen 5—10

mm \varnothing und 0,5—1 mm \varnothing mit Hilfe des von E. Wolff angegebenen Verfahrens (s. Wahnschaffe-Schucht 1924) ermittelt.

Die lufttrocken gewogene Substanz wird in einen kleinen unten eingeschnürten Glaszylinder von 10 mm Weite und 100 mm Gesamthöhe eingetragen, der über der Einschnürung ein grobmaschiges Drahtsieb, darüber ein Scheibchen Filtrierpapier trägt. Der gefüllte Zylinder wird so lange in ein wassergefülltes Becherglas gestellt, bis die Steine kein Wasser mehr aufnehmen; dann läßt man ihn abtropfen, entfernt mit Filtrierpapier alle außen und innen hängengebliebenen Wassertropfen und wiederholt die Wägung. Natürlich gibt die ermittelte Differenz nicht nur die von den Kalksteinstückchen aufgenommene sondern auch die an ihnen und am Glas hängengebliebene Wassermenge. Man kann den Anteil des nicht in den Kalkstein eingedrungenen Wassers mit hinreichender Genauigkeit dadurch ermitteln, daß man einen Zylinder mit der gleichen Menge nicht porösen Rauracienkalkes von gleicher Korngröße füllt und seine Wasserkapazität bestimmt. Diese Kalksteinstückchen lassen sich durch Zertrümmern frischen Rauracienkalkes leicht herstellen.

Die Untersuchung ergab folgendes:

Jeweils 100 g Material der Korngröße 0,5—1 mm \varnothing absorbierten folgende Wassermengen:

a	30,1 g	g	9,4 g
b	47,1 g	h	1,6 g
c	45,4 g	i	1,8 g
d	41,4 g	k	0,1 g
e	46,8 g	l	8,1 g
f	38,8 g	m	9,3 g

Für Steinchen von 5—10 mm \varnothing wurden folgende Werte ermittelt:

a	7,9 g	g	0,4 g
b	12,9 g	h	1,3 g
c	9,4 g	i	0,2 g
d	12,3 g	k	0,4 g
e	9,8 g	l	0,9 g
f	6,4 g	m	1,6 g

Vgl. dazu Abb. 4.

In dem groben Material der Schichten a bis f sind nur wenige Sintergrusstückchen enthalten: die gefundenen Zahlen sind also in der Hauptsache der Ausdruck der Porosität und damit des Auslaugungsgrades des Rauracienkalkes. In der feinen Fraktion der gleichen Proben überwiegen

die Sintergrusstückchen: man kann daher diese Werte als Maßstab für die Veränderung der Sinterbildung auffassen. Da in beiden Fraktionen dieser Proben Rauracienkalkstückchen und Sintergruskörner in wechselnder Menge nebeneinander vorkommen, überlagern sich in den ermittelten Zahlen die Absorption des ausgelaugten Rauracienkalkes und des Sintergruses. Ein Fehler in der Beurteilung der klimatischen Vorgänge wird aber dadurch nicht hervorgebracht, denn beide Erscheinungen, Auslaugung und Sinterbildung gehen auf die gleiche Ursache zurück, das Durchtreten des Tropfwassers durch das Höhlendach.

In einer früheren Arbeit habe ich die jeweilige Menge des Sintergruses durch Aussondern der Körner unter dem Mikroskop bestimmt (Lais 1932). Diese Methode ist zeitraubend und schwierig, weil sich nicht immer Sintergrus und ausgelaugter Kalk mit Sicherheit unterscheiden lassen. Die Bestimmung der Wasserkapazität nach der oben geschilderten Methode ist einfacher und zuverlässiger.

In der unteren Hälfte der Höhlensedimente fehlt der Sintergrus, und die Rauracienkalkstückchen zeigen in beiden Fraktionen nur geringe Auslaugung. Es sind also bis in die Magdalénienkulturschicht hinein nur sehr geringfügige oder gar keine Tropfwassermengen durch das Höhlendach getreten. In der oberen Hälfte tritt einem hohen Gehalt an Sintergrus auch eine starke Auslaugung der Rauracienkalkstückchen zur Seite. Beides läßt sich nur mit der Annahme erklären, daß erhebliche Tropfwassermengen durch das Höhlendach gesickert sind. Die Verringerung der porösen Kalkstücke und des Sintergruses in der Oberflächenschicht a muß nicht als Verringerung dieser Tropfwassermengen gedeutet werden.

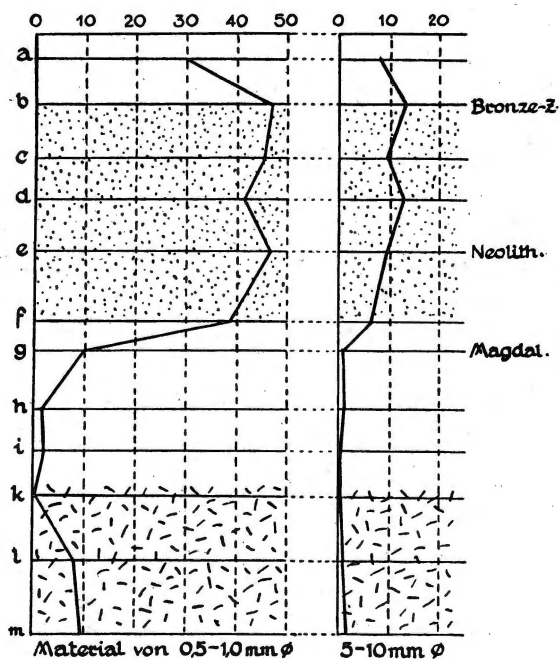


Abb. 4. Sedimente der Höhle St. Brais I. Absorption des Wassers für Material von 0,5—1 mm Ø und 5—10 mm Ø.

Wir können sie auch auf die von der Oberfläche ausgehende Verwitterung zurückführen, die alle porösen Stückchen, Sintergrus und Rauracienkalk schneller zerstörte und daher eine gewisse Anreicherung der harten Kalkstückchen herbeiführte.

Gewisse Unterschiede in der Sinterbildung sind innerhalb der Proben b bis f deutlich zu erkennen. In Schicht d ist der Kalksinter am lockersten. Dies wurde auf folgende Weise ermittelt:

Es wurde aus jeder Probe zunächst eine bestimmte Materialmenge durch trockene Siebung in verschiedene Fraktionen zerlegt; dann wurde das gleiche Material mit viel Wasser unter Zusatz von etwas Soda gekocht und nach dem Trocknen wieder in die gleichen Fraktionen zerlegt. Für die Korngrößen 4–5 mm, 3–4 mm, 2–3 mm und 1–2 mm ergab sich übereinstimmend die stärkste Gewichtsverminderung in der Schicht d. Der damals gebildete Sintergrus ist also der lockerste. Im Hinblick auf die später nachgewiesene Tatsache, daß diese Schicht auch die karbonatreichste von allen ist, kann gesagt werden, daß damals mehr Sintergrus als zu anderen Zeiten gebildet worden sein muß.

Aus diesen Untersuchungen lassen sich folgende klimatischen Schlüsse ableiten:

Von der tiefsten Schicht m bis in die Magdalénienkulturschicht ist Tropfwasser nicht oder nur in sehr geringer Menge durch das Höhlendach getreten, obwohl seine Zerklüftung es zugelassen hätte. Diese Erscheinung kann also nur klimatisch erklärt werden: die Zeit der Ablagerung dieser Schichten war also entweder niederschlagslos oder die Niederschläge haben in fester Form, als Schnee und Eis, die Felsoberfläche über der Höhle bedeckt. Der oben geführte Nachweis des Frostbruchschuttes lehrt, daß nur die zweite Möglichkeit als Ursache bestehen kann. Erst nach der Magdalénienzeit treten die Beweise dafür auf, daß Wasser durch das Höhlendach getreten ist. Von da ab sind also die Niederschläge größtenteils in Form von Regen gefallen und eine zeitweise bestehende Schneedecke muß immer wieder die Möglichkeit gehabt haben, abzuschmelzen. Das Klima war nicht mehr kalt und trocken, nicht mehr eiszeitlich. Die starke Sinterbildung spricht nicht nur für reichliche Niederschläge, sondern auch für eine gewisse Wärme. Diese ist zur Erzeugung der starken Verdunstung notwendig, die stattfinden muß, wenn lockerer Sintergrus entstehen soll. Der lockerste Sinter wurde in der Zeit d abgelagert. Dies läßt

sich damit deuten, daß sich damals die Zufuhr des kalkhaltigen Wassers und die Verdunstung zu optimaler Wirkung vereinigt hatten.

Von b nach a hin nimmt der Gehalt an porösen Rauracienkalkstücken und an Sintergrus auf Kosten eines stark wachsenden Lehmgehaltes rasch ab. Dies deutet auf eine von der Oberfläche her erfolgte Entkalkung und Verlehmung der obersten Schichten hin. Der hohe Humusgehalt der beiden oberen Schichten lehrt, daß an dieser posthumer Zersetzung Pflanzenwurzeln erheblich beteiligt sind. Natürlich muß dann auch die Frage beantwortet werden, warum eine derartige Verwitterung nicht auch schon früher erfolgt ist.

Den Schlüssel liefert eine Beobachtung Kobys. Er hat im untern braunen Lehm des Höhleninneren, noch 25 m vom Eingang entfernt, lebende Wurzeln festgestellt, die von Bäumen auf dem Schuttkegel vor der Höhle herühren. Dadurch daß sie an keiner Stelle Spuren humoser Zersetzung zeigten, zieht Koby den Schluß, daß der Schuttkegel die Höhe des Höhleneinganges erst seit wenigen Jahrhunderten erreicht habe. Dann war natürlich auch die unter der Einwirkung der Baumwurzeln erfolgte starke Verwitterung und Lehmbildung hinter dem Höhleneingang erst seit dieser Zeit möglich.

3. Der Kalkgehalt

Die Splitter und Steinchen von mehr als 0,5 mm Durchmesser bestehen aus Rauracien- und Sinterkalk. Die Menge der darin enthaltenen Knochensplitter, Holzkohlenstückchen und anderen Bestandteile ist so gering, daß man sie unberücksichtigt lassen kann. Im feinsten Material von weniger als 0,5 mm Durchmesser steckt außer tonigen Massen noch ein erheblicher Karbonatgehalt, vor allem in Form feinsten Staubes in den oberen Proben g bis a.

Der Karbonatgehalt wurde durch Auflösen von jeweils 5 g dieses Materials in 1%iger kalter Salzsäure ermittelt, in der nach Wahnschaffe-Schucht außer Karbonaten nichts in Lösung geht. So wurden folgende Kalkgehalte ermittelt (vgl. auch Abb. 5):

a	74,8%	g	75,0%
b	80,6%	h	57,8% •
c	90,8%	i	58,4%
d	91,2%	k	57,0%
e	88,0%	l	53,2%
f	84,6%	m	52,0%

In diesen Zahlen kommt der hohe Anteil, den der lockere Sinter am Aufbau der oberen Hälfte des Schichtprofils nimmt, ebenso deutlich zum Ausdruck wie die Tatsache, daß die untere Hälfte in der Hauptsache aus

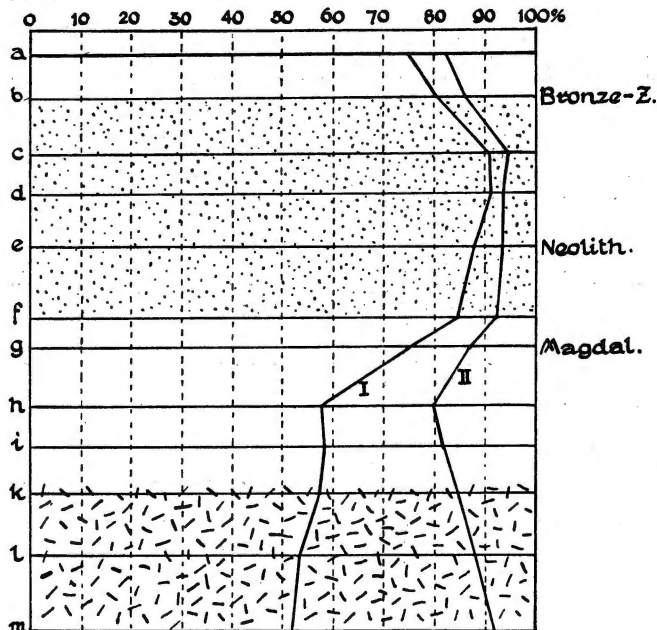


Abb. 5. Sedimente der Höhle St. Brais I. Der Kalkgehalt I im Material von 0,5 mm \varnothing , II im Material von 0—10 mm \varnothing .

Grobschutt besteht. Dieser hat naturgemäß zum Aufbau der feinsten Fraktion nur wenig beigetragen, winzige beim Herabfallen der Steine abgesprengte oder nachträglich abgewitterte Splitter. Die Stellung der Magdalénienkulturschicht g im Profil bedarf in diesem Zusammenhang noch einer Erörterung. Auf Grund des Kalkgehaltes scheint sie zunächst der Reihe der sinterreichen Schichten näher zu stehen, als der des Grobschuttes. Dies würde in einem gewissen Gegensatz zu dem Befund stehen,

der sich aus der Porosität des Materials ergibt. Der Widerspruch löst sich sehr einfach, wenn wir annehmen, daß die Schicht des Magdaléniens von der darüberliegenden Schicht f aus mit Kalk infiltriert worden ist. Die geringeren Werte der beiden obersten Proben müssen auf die von der Oberfläche her erfolgte Verwitterung zurückgeführt werden.

Es schien für die Beurteilung des Sedimentationsablaufes weiterhin wichtig, auch den Kalkgehalt des gesamten Materials bis zu 10 mm Korngröße zu ermitteln. Wenn man dies in der oben geschilderten Art vornehmen wollte, so müßte man große Mengen mit Salzsäure behandeln, was sehr zeitraubend wäre. Es wurde daher ein anderes Verfahren eingeschlagen.

Es beruht auf der Tatsache, daß alle Körner von mehr als 0,5 mm Durchmesser mit ganz geringen Ausnahmen, die nicht ins Gewicht fallen, aus

Rauracienkalk oder Sintergrus bestehen und daher als Kalkkarbonat gelten müssen. Mit Hilfe der in Tabelle S. 68 wiedergegebenen Korngrößenanalyse und des oben ermittelten Kalkgehaltes der Fraktion von weniger als 0,5 mm Korngröße läßt sich der Gesamtkalkgehalt leicht berechnen.

Es betrug z. B. in 100 g Material der Schicht a der Anteil an Körnern von mehr als 0,5 mm Größe 29,5 g; der Rest von 70,5 g enthielt 74,8%, das sind $70,5 \times 74,8 \times 0,01 \text{ g} = 52,7 \text{ g}$ Kalk. Der gesamte Kalkgehalt betrug also $29,5 \text{ g} + 52,7 \text{ g} = 82,2 \text{ g}$.

So ergaben sich für den Gesamtkalkgehalt der einzelnen Proben folgende Werte:

a	82,2%	g	87,0%
b	86,1%	h	80,0%
c	94,7%	i	82,0%
d	93,7%	k	84,8%
e	93,5%	l	88,2%
f	92,4%	m	91,9%

Naturgemäß liegen hier alle Werte sehr viel näher beisammen als in der feinsten Fraktion; gleichwohl bestehen sehr bemerkenswerte Unterschiede, vor allem im Kalkgehalt des Grobschuttes der Schichten m bis h. Ihre Deutung wird im nächsten Abschnitt versucht werden.

4. Die lehmigen Bestandteile

Als lehmige Bestandteile werden hier alle feinsten Teile aufgefaßt, die in schwacher Salzsäure unlöslich sind, also nicht nur die Tonerde, sondern auch andere Silikate, etwa Quarz, und andere Verbindungen. Demgemäß konnten einfach die Komplemente der oben errechneten Gesamtkarbonatgehalte als lehmige Bestandteile gewertet werden. (Es wäre falsch gewesen, etwa die nach Auflösung des gesamten Materials von weniger als 10 mm Korngröße verbleibende Menge unlöslicher Substanz zu ermitteln; denn damit wären auch die tonigen Bestandteile des Rauracienkalks freigemacht und der Einblick in die tatsächlichen Sedimentationsvorgänge getrübt worden.)

Die Lehmgehalte betragen in

a	17,8%	g	13,0%
b	13,9%	h	20,0%
c	5,3%	i	18,0%
d	6,3%	k	15,2%
e	6,5%	l	11,8%
f	7,6%	m	8,1%

Bemerkenswert und auffallend ist es, daß sie im Bereich des Frostbruchschuttes recht erheblich, innerhalb der Sinterschichten aber sehr gering sind. Wollte man den Lehmgehalt aus dem Rauracienkalk selbst herleiten oder annehmen, er sei aus seinen Klüften durch das Tropfwasser herausgeschwemmt worden, so müßte er in den Schichten, die auf eine erhebliche Wasserdurchfuhr schließen lassen, also in den Sinterschichten, am reichlichsten vertreten sein, in dem während der trockenen Eiszeiten gebildeten Frostbruchschutt aber fehlen. Der tatsächliche Befund lehrt, daß diese lehmigen Bestandteile allochthoner Herkunft sind. Es handelt sich hier also um feinen Staub, der während der Eiszeit in diese Höhle geweht worden ist. Er hat dieselbe Farbe wie der Löß außerhalb der Höhlen im Alpenvorland. Der Lehmgehalt steigt von der untersten Frostbruchschicht m stetig an und erreicht schließlich in Schicht h den zweieinhalbfachen Betrag, um dann mit raschem Abstieg auf geringe Werte zurückzugehen. Es wäre aber falsch, aus diesem Kurvenverlauf ohne weiteres auf eine zunächst zunehmend verstärkte, dann rasch abklingende Staubeinwehung schließen zu wollen. Derartige Schlüsse wären nur dann berechtigt, wenn es sicher wäre, daß die gleichzeitige Bildung von Kalksteinschutt und Sinter dauernd mit der gleichen oder einer zunehmenden Geschwindigkeit erfolgt ist; wir wissen aber einstweilen darüber nichts. Innerhalb der Sintergrusschichten ist wohl der größte Teil des Lehmgehaltes autochthoner Entstehung, d. h. Lösungsrückstand des Kalkes. Der hohe Lehmgehalt der beiden obersten Schichten ist auf den von der Oberfläche her erfolgten Verwitterungsvorgang zurückzuführen.

5. Der ockergelbe Lehm

Über den ockergelben Lehm, der da, wo die Probeserie entnommen worden ist, fehlt, im hinteren Teil der Höhle aber gut entwickelt ist, wurde bereits oben mitgeteilt, daß er wohl in der Hauptsache aus fremdem, von der Oberfläche über der Höhle eingeschwemmtem Material besteht. Es ist aber sehr wohl möglich, daß auch Verwitterungslehm des Rauracienkalks an seinem Aufbau beteiligt ist. Denn er enthält vor allem im hinteren Teil der Höhle völlig ausgelaugte Kalksteinstücke. Im vorderen Teil sind diese außerordentlich selten. Dies lehrt, daß während der Ablagerung des Lehms Deckenabbrüche in namhaftem oder auch nur bescheidenem Umfang nicht stattgefunden haben, also weder ein Zerfriren noch eine chemische Verwitterung des Höhlendaches erfolgt ist. Die erste Tatsache

schließt ein glaziales Alter des ockergelben Lehms aus, die zweite zeigt, daß er in verhältnismäßig kurzer Zeit abgelagert sein muß, während alle übrigen Schichten, auch der Sintergrus zu ihrer Bildung erheblich länger gebraucht hatten. Selbst dann wenn der Lehm keine fremden Mineralien enthielte, müßte auf eine gegenüber den übrigen Schichten völlig andersartige Entstehung geschlossen werden. Es käme nur Einschwemmung in Betracht.

Der Lehm ist von dem darüberliegenden Grobschutt im allgemeinen sehr scharf getrennt und fehlt im vordersten Teil der Höhle. Beides muß mit einer vor der Ablagerung des Grobschuttes erfolgten Ausschwemmung erklärt werden und setzt die Durchfuhr noch erheblicherer Wassermengen voraus, als sie zu seiner Ablagerung erforderlich waren. Diese Periode der Abschwemmung, die der Bildung des glazialen Grobschuttes unmittelbar vorausgegangen war, setzen wir in die Riß-Würm-Interglazialzeit. Es ist nicht notwendig, die Ablagerung des ockergelben Lehms selbst etwa einem früheren Interglazial zuzuweisen. Hier werden die Ausführungen Soergels wichtig, die sich zwar zunächst nur auf Freiland-Absätze beziehen, aber weitgehend auch für Höhlensedimente zutreffen (Soergel 1919). Dort steht: „Über das gemäßigte Klima im Höhepunkt eines Interglazials hielten Moor-, Ton- und Tuffkalkbildung an, sie mußten aber mit seltenen Ausnahmen zum Abschluß gelangen, wenn mit dem Vorstoßen einer neuen Vereisung eine neue Trockenperiode einsetzte und der Wasserhaushalt des vor dem Eise liegenden Gebietes wesentlich eingeschränkt wurde. Die Bildung der interglazialen Gesteine hörte auf . . . Der weitaus größte Teil der Interglazialprofile muß mit Schichten aus der Zeit des gemäßigten Klimas abbrechen.“

Die zeitliche Einstufung der Sedimente über dem Fels und ockergelben Lehm kann nun nicht mehr zweifelhaft sein und wäre es auch dann nicht, wenn keine prähistorischen Funde eingelagert wären.

Von der Gegenwart, also der obersten Verwitterungsdecke an, zeigen alle petrographischen Merkmale eine zwar nicht immer gleichsinnige, aber doch fortlaufende Entwicklung, die nirgends plötzlich abgeschnitten erscheint. Es kehren aber auch nirgends Merkmale wieder, die schon einmal aufgetreten wären. Von dem Verwitterungslehm der Gegenwart dringen wir in die Absätze eines zunächst niederschlagsreichen Klimas, denen alle Anzeichen einer bis ins Innere der Höhle eingedrungenen Frostwirkung

fehlen, dann durch eine dünne Übergangsschicht in die Ablagerungen eine trocken-kalten Klimas mit kräftiger Frostsprengung vor. Man kann in diesem Sedimentations- und Klimaablauf keinen anderen sehen als den, der sich vom Beginn der letzten Eiszeit bis zur Gegenwart abspielt hat.

Es wäre an sich denkbar, daß die tiefsten Grobschuttschichten nur die Vorstoßphase der Würm I + Würm II = Eiszeit darstellten, die älteren glazialen Bildungen aber während des Würm-I-Würm-II-Interstadials ausgeräumt worden wären. In diesem Fall müßten wir aber mit starken und lang andauernden Wassereinbrüchen rechnen, für die weder das Klima noch die Dauer einer Interstadialzeit ausreichen. Diese Zeit müßte niederschlagsreicher gewesen sein als der darauffolgende Teil des Postglazials, in dem in unserer Höhle ein Fortgang der Sedimentation, aber keine Ausräumung stattgefunden hat.

Hier ist auch die Frage zu beantworten, ob und in welcher Weise in unseren Untersuchungsergebnissen die große Rückzugsschwankung der Würmeiszeit, das Würm-I-Würm-II-Interstadial zum Ausdruck kommt. Aus der Kurve (Abb. 1) können wir einen ersten Vorstoß der Grobschuttbildung von m nach l, einen zweiten weit schwächeren von i nach h herauslesen, die wir mit den beiden Hauptvorstößen des Eises in Verbindung bringen können.

Koby hat hinter unserer Entnahmestelle, 6 bis 10 m vom Höhlen-
eingang entfernt, im unteren Teil des Schichtprofils eine dreimalige Häufung des groben Schuttes festgestellt und schreibt dazu, es verstehe sich von selbst, daß man die Schichten, die einen Klimawechsel, wie er während der letzten Eiszeit erfolgte, zum Ausdruck brächten, nur unter ganz bestimmten Bedingungen finden könne. Sie dürften nicht am Eingang der Höhle, wo die Verwitterung am stärksten ist, aber auch nicht zu weit im Innern gesucht werden, denn die atmosphärischen Veränderungen machten sich nur über eine gewisse Erstreckung hin bemerkbar. In St. Brais I war der Schutt in 6 bis 10 m Entfernung vom Eingang am besten entwickelt. Hier hatte sich dann auch der letzte in der Würm-III-Zeit erfolgte Eisvorstoß in Form einer vermehrten Bildung von Grobschutt ausgewirkt. Diese Grobschuttbildung entspricht den Schichten h und g unseres Profils, denn sie wird von sinterreichen Schichten überlagert, die im vorderen Teil über dem Magdalénienhorizont beginnen. Dieser Befund wird durch das Auftreten einiger Zähne des Höhlenbären in der Kulturschicht des Magdalénien von der paläontologischen Seite her bestätigt.

Nach Koby's Feststellungen nimmt gegen das Höhleninnere hin die Mächtigkeit aller Schichten erheblich ab. Hier können vielfach die drei im Vordergrund so scharf getrennten Schichten: Lehm—Grobschutt—sinterreiche Bildungen nicht mehr unterschieden werden. Durch die ganze Füllung sind Steine zerstreut und da und dort wurden Höhlenbärenzähne unmittelbar an der Oberfläche gefunden. Dies ist leicht verständlich: im Innern der Höhle haben sich die Änderungen des Klimas nicht oder kaum mehr ausgewirkt, hier konnte vor allem weder Frostbruchschutt gebildet noch Staub eingeweht werden. Lediglich die Sinterbildung ist auch hier in beschränktem Umfang weitergegangen. Wie im vorderen Teil der Höhle hat sie auch hier erst nach der Besiedlung durch den Höhlenbären eingesetzt. Denn die zahlreichen und prachtvollen Bärenschiffe, die sich auf den Vorsprüngen der Rauracienfelsen in den inneren Kammern fanden, sind vielfach von Sinterkrusten überzogen. Diese sind unmittelbar über den Bärenschiffen sehr hart und kristallin und in den oberflächlichen Lagen locker und kreidig. Die Ausscheidung des Kalks ist also zunächst sehr langsam, später schnell vor sich gegangen.

Noch muß auf eine sehr bemerkenswerte, bereits von Koby festgestellte Tatsache abgehoben werden: daß im vorderen Teil der Höhle die Höhlenbärenzähne führenden Schichten bis auf nur 15 cm Abstand an die neolithische Kulturschicht heranreichen, daß also vom Ausgang des Paläolithikums bis zum Neolithikum, während des ganzen langen Mesolithikums nur äußerst wenig Material abgelagert worden ist. Dies paßt durchaus zu der Vorstellung, daß ein großer Teil des Mesolithikums der trocken kontinentalen und warmen Klimaperiode des Boreals angehört, in der weder eine erhebliche Wasserzufuhr durch das Höhlendach noch eine kräftige Frostsprengung stattfinden konnte.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung können dahin zusammengefaßt werden, daß die Sedimente der Höhle St. Brais I in der Zeit vom Riß-Würm-Interglazial bis zur Gegenwart gebildet worden sind und den Klimablauf während dieser Zeit deutlich erkennen lassen.

III. ÄHNLICHE SCHICHTPROFILE AUS ANDEREN HÖHLEN

Wenn wir die Entstehung der verschiedenartigen Höhlensedimente klimatisch erklären, so führen wir sie damit auf eine regionale Ursache zurück. Es muß dann möglich sein, in anderen Höhlen ähnliche oder gleichartige Profile festzustellen.

Diese sind auch tatsächlich vorhanden. Es ist aber fast immer eine mühevollere Arbeit, aus der reichen Literatur über prähistorische Höhlenfunde brauchbare Angaben über den Aufbau der Sedimente zu gewinnen. Zahlreiche Grabungsberichte versagen überhaupt und andere beschreiben die Sedimente nur sehr oberflächlich. Messende Untersuchungen hat nur G. Riek an den Schichten des Vogelherdes ausgeführt. Gleichwohl ist es möglich, aus einem Gebiet, das sich von Jugoslawien und Mähren bis zum Doubs und Rhein erstreckt, eine Anzahl von Profilen beizubringen, die mit der Schichtenfolge von St. Brais übereinstimmen und sie teilweise ergänzen.

1. Vier Höhlen im Basler Jura

Im Basler Jura liegen eine Anzahl steinzeitlicher Höhlenstationen, die von Sarasin und Stehlin beschrieben sind (1918 u. 1924). In den vier Fällen, in denen die abgegrabenen Schichten hinreichend genau gekennzeichnet sind, zeigt sich eine bemerkenswerte Übereinstimmung der Profile⁴⁾.

	Magdalénienstation von Ettingen	Abri am Hohlenfelsen bei Birseck	Höhle am Schloßfelsen bei Birseck	Abri bei Angenstein
A	Braune Erde mit Steinen	Humus	Oberflächenschicht	Kalkschutt
B	Urnenfelder bis Gegenwart Steinige Schicht in Felsnähe sehr sinterreich	Graue Schicht in Felsnähe sehr sinterreich	Steiniger Boden mit Sinter Neolithikum	Graue sinterreiche Humuslage Neolithikum bis Gegenwart
C	Ohne Artefakte	Azilien?	Gelber steiniger Lehm Azilien	Gelber Lehm Azilien
D	Braune und graue Kulturschicht Spätmagdalénien	Gelbe steinige Erde ohne Artefakte	Gelber steiniger Lehm Spätmagdalénien	

Durchgängig ist die Oberflächenschicht A frei von Sinter. Dieser findet sich unmittelbar unter ihr in Ablagerungen (B u. C), die in den Höhlen am Schloßfelsen bei Birseck und bei Angenstein bis ins Neolithikum, bei Ettingen und im Hohlenfelsen bei Birseck aber vielleicht noch ins Azilien hinabreichen. Die tiefsten Schichten (Azilien und Magdalénien, C und D) zeigen übereinstimmend gelbe Farbe (bei der Magdalénienstation von Ettingen ist diese offenbar durch die Dunkelfärbung der Kulturschicht verdeckt). Diesen tiefsten Schichten fehlen Sinterbildungen. Es ist hier aber

⁴⁾ Die Bezeichnung der Schichten ist nicht einheitlich, weil ich darin weitgehend dem Autor F. Sarasin folgen mußte.

auch kein reiner Frostbruchschutt gefunden worden. Sie gehören demnach der Postglazialzeit an. Damit stimmt auch die Tatsache, daß als älteste Kultur höchstens ein sehr spätes Magdalénien gefunden wurde.

2. Das Schweizersbild bei Schaffhausen

Unter dem nur wenig überhängenden Felsen des Schweizersbildes bei Schaffhausen hat E. Nüesch (1902) folgendes Profil ergraben:

Schichten und Kulturen	Farbe	Gehalt an Kalkstücken vom Höhlendach usw.	Gehalt an Sinter
a) „Humusschicht“	braun	Nach den Profilzeichnungen einzelne größere Steine	—
b) „Graue Kulturschicht u. Aschenschicht“ Neolithikum	grau bis weiß	Abgewitterte kleine Stücke und mächtige Steine	Sehr viel Asche (= lockerer Sinter)
c) „Brekzienschicht“ (Mesolithikum)	gelb	Lose Brekzie aus eckigen, erbs- bis nußgroßen Stückchen	Der Schutt teilweise durch Sinter verkittet
d) „Gelbe Kulturschicht“. An der Basis stellenweise die „untere Brekzienschicht“, Magdalénien	gelb	Ungeheure Menge v. Steinen mit spär. Porenfülle aus gelbl. Lehm. Ganz lose u. leicht beweglich	Nur am Felsen harte Sinterkrusten auf den Steinen
e) „Schotterschicht“	gelb	An d. Kanten gut gerundete Juragerölle, selten alpine Gerölle; stellenweise viel Lehm	Nur unmittelbar am Felsen scharfkantige kleine, durch Sinter verkittete Stücke

In der Beschreibung der neolithischen Kulturschicht b spricht Nüesch von einem außerordentlich großen Gehalt an hellgrauer bis weißer Asche. Insbesondere unmittelbar am Fuß des Felsens soll sich eine stellenweise ganz aus reiner Asche bestehende hellgraue Schicht gefunden haben. Es wurden „nicht weniger als 14 zweispännige Wagen voll Asche weggeführt“. Lesen wir dann noch, daß „trotz der enormen Masse von Asche in dieser Schicht“ „leider sehr wenig Kohlenreste erhalten geblieben“ sind, so begegnet die Deutung dieser weißen Bestandteile den allergrößten Bedenken. Wir mußten es schon auf Grund dieser Schilderungen für unbedingt sicher halten, daß es sich in der Hauptsache um eine aus lockerem Sintergrus bestehende Ablagerung handelt.

Glücklicherweise sind im Museum zu Allerheiligen in Schaffhausen umfangreiche Proben aus den von Nüesch unterschiedenen Schichten auf-

bewahrt. Ich bin dem Direktor des Museums, Herrn Dr. Sulzberger, der mir dieses Material zu einer Untersuchung zur Verfügung gestellt hat, zu größtem Dank verpflichtet.

Es fanden sich, als „Graue Kulturschicht“ bezeichnet, größere schwach verkittete weiße bis hellgraue Brocken, die einen sehr hohen Gehalt an Sintergrus hatten. Damit wird das Auftreten lockerer Sintermassen in der neolithischen Schicht außer Frage gestellt. Die tieferen Schichten enthalten keinen lockeren kreidigen Sinter sondern höchstens noch harte Kalkausscheidungen, vor allem in der Nähe des Felsens. Aus der oberflächlichen Humusschicht wird kein Sinter erwähnt. Darin herrscht völlige Übereinstimmung mit den Befunden aus den bisher besprochenen Höhlen.

Auch in der Farbe verhalten sich die Sedimente des Schweizersbildes nicht anders: Gelbfärbung tritt nur in den drei unteren Schichten auf.

Eine Korngrößenuntersuchung der in Schaffhausen liegenden Schichtproben erwies sich ebenfalls als aufschlußreich⁵⁾. (Eine Probe aus der nur stellenweise unter der gelben Kulturschicht gefundenen unteren Brekzienschicht war nicht vorhanden.)

Die Untersuchung hatte folgendes Ergebnis:

Schicht	In Gewichtsprozenten ausgedrückter Gehalt an Körnern von				
	> 20 mm Ø	15-20 mm Ø	10-15 mm Ø	5-10 mm Ø	< 5 mm Ø
a) Humus	54,5	3,8	4,9	7,4	29,4
b) Graue Schicht neol. . .	18,0	11,0	15,0	14,5	41,5
c) Brekzienschicht	0,7	2,6	6,1	45,6	45,0
d) Gelbe Kulturschicht					
Magdalénien I. Probe .	13,8	14,2	25,6	31,6	14,8
II. Probe .	8,6	15,2	27,7	35,5	13,0
Mittel aus I u. II . . .	11,2	14,7	26,6	33,6	13,9
e) Schotterschicht	26,5	13,7	18,4	20,9	20,5

Zur Untersuchung wurden jeweils 5 kg Material verwendet. Die zwei getrennt aufbewahrten Proben der gelben Kulturschicht ergaben für die einzelnen Korngrößen nur wenig abweichende Werte. Darin darf man eine Bestätigung für die Anwendbarkeit dieser Untersuchungsmethode sehen. Die liegenden Schotter enthalten verhältnismäßig viel große Stücke von über 20 mm Ø; sie müssen also aus einem recht groben Schutt hervorgegangen sein, den wir als eiszeitlichen Frostbruch deuten müssen. Der

⁵⁾ Für seine freundliche Hilfeleistung habe ich Herrn Dr. Guyan in Schaffhausen zu danken.

darüber liegende Schutt des Magdaléniens hat einen erheblich geringeren Gehalt an großen Stücken, die durchweg in Form dünner flacher Scherben auftreten. Er muß aus diesem Grund zwar als Spaltenfrostbildung angesehen werden, kann aber nicht während des Hochstandes der letzten Vereisung entstanden sein und ist einer ihrer späten Phasen zuzuweisen. Die Brekzienschicht enthält überhaupt fast keine größeren Steine. Ihre starke Zerstückelung setzt einen sehr häufigen Wechsel von Durchfeuchtung und Gefrieren voraus, wie er für die Übergangszeit zum Postglazial angenommen werden darf. Nach der Oberfläche hin steigt der Gehalt an großen Steinen sehr erheblich an. Diese sind aber nicht mehr scherbenartig dünn, sondern dick und plump. Sie sind durch die chemische Verwitterung aus der Felswand herausgelöst worden.

Die feinen Anteile von weniger als 5 mm \varnothing zeigen ein entsprechendes Verhalten. In der Schotterschicht ist der verhältnismäßig hohe Gehalt auf das eingeschwemmte lehmige Material zurückzuführen. In der gelben Kulturschicht, die aus Frostbruchschutt besteht, ist diese Menge naturgemäß sehr gering. In der Brekzienschicht besteht zu 90% das feine Material aus kleinen Kalksteinsplittern von weniger als 10 mm \varnothing . In den beiden obersten Schichten enthält dagegen der Anteil von weniger als 5 mm \varnothing sehr viel ganz feines Material.

Der Korngrößenaufbau läßt die gegensätzliche Verwitterungsart, die nach der Ablagerung der z. T. sicher mesolithischen Brekzienschicht eingesetzt hat, mit aller Deutlichkeit erkennen.

3. Der Petersfels bei Engen im Badischen Jura

Im Petersfels unweit von Engen im Badischen Jura stellte E. Peters (1930) folgende Schichten fest:

- A. Stark humose graue Oberflächenschicht von 0,5 m Mächtigkeit. Sie führte in ihrem unteren Teil Kalkblöcke und größere Steine. Eine im Museum für Urgeschichte in Freiburg aufbewahrte Probe enthält auch kleine stark abgerundete Kalksteinstücke.
Neolithische, römische, mittelalterliche Scherben.
- B. Frostbruchschicht aus eckigen bis nußgroßen Kalksteinstücken, 0,65 m mächtig.
- C. Kulturschicht des Hochmagdaléniens von gelbroter Färbung, 0,3 bis 0,4 m mächtig. Die in Freiburg aufbewahrten Proben haben rotbraune Farbe. Sie bestehen aus dem gleichen eckigen Schutt wie B und D. Die rotbraune Farbe rührt von einem zähen plastischen unreinen Lehm her. Sehr wahrscheinlich handelt es sich dabei nicht um ein in der Höhle entstandenes Verwitterungsprodukt, sondern um Lehm, der vom Magdalénienmenschen bei der Begehung der

Höhle aus der Umgebung eingeschleppt wurde. Andere Proben zeigen die übliche dunkelgraue Farbe der Kulturschichten.

D. Frostbruchschicht wie B, 0,45 m dick.

E. Unter einer 2—4 cm starken „Kalkspatdecke“ liegt das „Anstehende (Kalkmergel, Kalksand, Kalkbrocken, Kalkblöcke, Fels)“.

Ablagerungen lockeren Sintergruses sind nach Peters nicht beobachtet worden. Die Kleinstückigkeit des Frostbruchschuttes spricht für Zuweisung in den Ausgang der Würmeiszeit, doch nicht für postglaziale Entstehung. Die ihm eingelagerte Kulturschicht kann daher kein Spätmagdalénien sein. Damit stimmt die typologische Datierung überein.

4. Der Vogelherd bei Stetten ob Lontal (Schwäbischer Jura)

Die von G. Riek (1934) eingehend untersuchten Profile der Vogelherdhöhle sind wegen ihrer reichen petrographischen Gliederung und der Einlagerung einer ganzen Anzahl prähistorischer Kulturen besonders wertvoll.

Auf Grund der von Riek gegebenen Schichtprofile läßt sich folgende Gliederung als allgemeingültig ansehen:

1. Humose Schicht. Teilweise in eine obere steinfreie oder steinarme und eine untere mehr steinige Schicht getrennt. An einzelnen Stellen (Prof. VI, VII u. VIII) enthält sie zelligen Kalksinter. An der Basis oder im unteren Teil liegt eine bandkeramische Kulturschicht	braunschwarz bis tiefschwarz	Postglazial
2. Mittelstückiger Kalkschutt Magdalénien in Flächenstreuung } Mittelstückiger Kalkschutt } In den Profilen III, Magdalénien in Flächenstreuung } IV, V u. VIII ist nur Mittelstückiger Kalkschutt } eine Magdalenschicht eingelagert	Porenfülle gelbweiß	Würm III Würm II
3. Kleinstückiger Kalkschutt mit oberem Aurignacien	Porenfülle gelbbraun bis hellbraun	Würm-I-Würm-II-Interstadial
4. Sehr kleinstückiger Kalkschutt mit mittlerem Aurignacien		
5. Kleinstückiger Kalkschutt mit unterem Aurignacien	Porenfülle gelb, auffallend lößähnlich	Würm I
6. Grobstückiger Kalkschutt mit Moustérien und Jungacheuléen in Flächenstreuung		
7. Ockergelber Lehm, z. T. verschwemmter Bohnerzlehm. Kultur der Höhlensohle	ockergelb	Riß-Würm-Interglazial
8. Bohnerzton, Brauneisensteinkrusten, anstehender Kalk		

Riek sagt ausdrücklich, daß der „kleinstückige“ Schutt des Aurignaciens kleinere Ausmaße hat als der grobstückige Schutt der Basis und der „feinstückige“ Schutt des Magdaléniens. Da diese Bezeichnungen mißverstan-

den werden können, habe ich sie teilweise durch andere ersetzt. Die zeitliche Einordnung ist in Übereinstimmung mit der Deutung Rieks erfolgt. Der mittelstückige Schutt mit den beiden Magdalénienhorizonten wurde, den neueren Anschauungen über die Auswirkung der letzten Phasen der Würmeiszeit entsprechend, der Würm-II- + Würm-III-Zeit zugewiesen.

Diese Schichtenfolge zeigt, im Ganzen betrachtet, die gleiche Dreiteilung wie das Profil St. Brais I: zuunterst den interglazialen Lehm von ockergelber Farbe, dann die mächtigen Frostbruchschichten der Würmeiszeit und zuoberst die geringmächtigen postglazialen humosen Sedimente, denen hier allerdings nur schwache Sinterbildungen eingelagert sind. Eigentlicher lockerer Sintergrus scheint im Vogelherd überhaupt nicht vorzukommen; aller Sinter ist hart und kristallisiert, also offenbar aus schwachen Kalklösungen langsam ausgeschieden. Die Überdeckung der Höhle ist offenbar zu gering, als daß sich gesättigte oder starke Kalklösungen hätten bilden können. Nach Riek verläuft die Höhlensohle durchschnittlich auf 480 m Meereshöhe; die Kuppe des Vogelherdes trägt den trig. Punkt 489,4 m.

In den Profilen des Vogelherdes kommt in der Verfeinerung des Grobschuttes das Würm-I-Würm-II-Interstadial ebenso unverkennbar zum Ausdruck wie in der Farbe der feinsten Porenfülle. Sie ist im Gegensatz zur auffallend lößähnlichen Porenfülle der Ablagerungen der Würm-I-Zeit und der gelbweißen der Würm-II- + Würm-III-Zeit leicht bräunlich gefärbt. Der starke Humusgehalt und die damit verbundene Dunkelfärbung der postglazialen Oberflächenschicht darf wohl unbedenklich auf die Waldbedeckung des Vogelherdes zurückgeführt werden. Dann lehren die Hellfärbungen der Schichten 2 bis 6, daß während der Zeit ihrer Bildung die Waldbedeckung gefehlt hat und die Verwitterung unter wesentlich abweichenden klimatischen Bedingungen erfolgt ist.

5. Die Höhlen von Mauern im Fränkischen Jura

Vor kurzem sind bei Mauern, zwischen Ingolstadt und Donauwörth am Südrand des Fränkischen Juras fünf Höhlen ausgegraben worden. Sie liegen in 422 m Meereshöhe an einem nasenartigen Bergvorsprung 20 m über der Talsohle. Im Rahmen dieser Ausführungen sind sie besonders wichtig, weil ihren Sedimenten angeblich auch Löß eingelagert ist (Bohmers, 1939).

Das in Abb. 6 wiedergegebene Profil gilt gleichmäßig für alle fünf Höhlen; es stellt den Schichtenaufbau etwa zwei Meter hinter den Höhleneingängen dar.

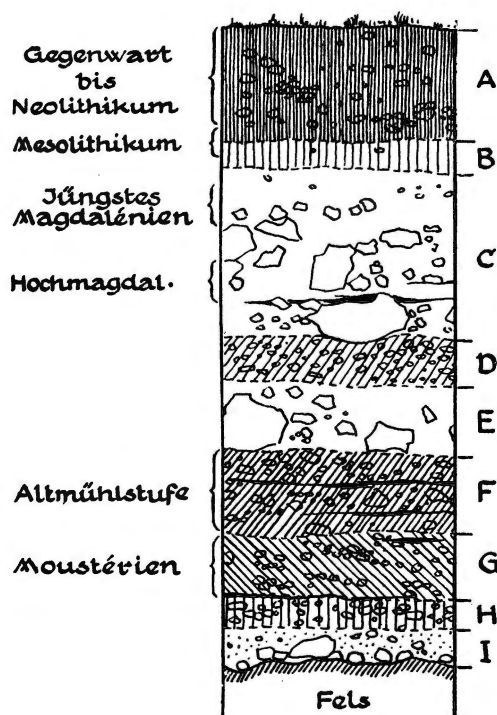


Abb. 6. Schichtprofil der Höhlen von Mauern im Fränk. Jura (nach Bohmers).

Das Profil zeigt deutlich einen Wechsel von Löß- und Lehmschichten. Die Löße sind gleichzeitig auch Frostbruchschichten, während den Ton- und Lößlehmschichten viele kleine und abgerundete Kalksteine eingelagert sind. Der eiszeitliche Löß hat hier gelblichgraue Farbe, während die Lehmschichten grau bis braun gefärbt sind. Es fällt auf, daß hier nur die Lehmschichten F und D grau gefärbt sind. Sie sind offenbar unter andern Bedingungen entstanden als etwa die mesolithische Lehmschicht B oder der Moustérienlehm G. Offenbar war im Würm-I-Würm-II-Interstadial und ebenso in der der Würm-I-Zeit unmittelbar vorausgehenden Zeit das Klima zu kühl, als daß eine Braunverwitterung hätte eintreten

können. Wichtig ist auch die Tatsache, daß das Würm-II-Würm-III-Interstadial in der Sedimentation dieser Höhlen überhaupt nicht zum Ausdruck gekommen ist. Die während dieser Zeit abgelagerte Schicht C ist einheitlich aufgebaut. Nach freundlicher brieflicher Mitteilung von Herrn Dr. Bohmers zeigen die Kalkstücke der Lehmablagerungen Auslaugungserscheinungen, die im Löß liegenden aber nicht. Sinterbildungen sind hier nicht gefunden worden.

Der von Bohmers vorgenommenen Datierung der einzelnen Schichten kann man auf Grund der petrographischen Ausbildung in allen Teilen beipflichten. Sie bildet eine ausgezeichnete Bestätigung unserer bisherigen Befunde.

6. Eine Höhle am Isteiner Klotz in Südwestbaden

In einer Höhle im Rauracienkalk des Isteiner Klotzes, die wenige Meter unterhalb der Niederterrasse des Rheins liegt, fand sich ein reichgegliedertes Schichtprofil, das aber naturgemäß nur postglaziale Sedimente enthält (Lais 1929, 1931, 1932).

a	Gegenwart	Brauner Lehm mit geringen Mengen von Kalkschutt und wenig Sintergrus
b		
c		
d	Urnenfelderzeit	Rotbrauner Lehm mit geringen Mengen v. Kalkschutt und wenig Sinter
e		Brauner Lehm mit geringen Mengen von Kalkschutt und wenig Sinter
f	Neolithikum	Graue Kulturschicht mit etwas größeren Mengen von Kalkschutt und sehr viel Sinter
g		Größte Sintergrusmengen, viel Kalkschutt, weiß
h		Viel Kalkschutt mit gelber, lehmig-sandiger Porenfülle und ziemlich viel Sintergrus
i	Azilio-Tardenoisien	Viel Kalkschutt mit gelber sandig-lehmiger Porenfülle, sehr wenig Sintergrus und vereinzelt Rheingeröllen

Das Liegende bilden würmeiszeitliche Schotter und Sande des Rheins.

Das Profil lehrt, daß die Menge des Sintergruses während der Anwesenheit des neolithischen Menschen in der Höhle und schon beträchtliche Zeit vorher sehr bedeutend, während des Aziliens aber noch sehr gering war. Die Menge des groben Kalkschuttes geht nur in den oberen und mittleren Teilen des Profils (a bis g) der Sintergrusmenge parallel. Hier ist offenbar zugleich mit der Sinterbildung eine beträchtliche Ablösung von Kalkstücken vom Höhlendach erfolgt. Der Grobschutt der tiefsten Azilienschicht i ist durch Frostwirkung während der strengen kontinentalen Winter des Boreals entstanden. Bemerkenswert ist auch hier die Gelbfärbung der beiden tiefsten Schichten, die in anderen Teilen des Profils nicht wiederkehrt.

Sintergrus wurde noch in einer zweiten Höhle dieses Gebietes, am „Katzenrain“ auf Gemarkung Efringen über einer mesolithischen Kulturschicht festgestellt (Lais 1931).

7. Die Kartsteinhöhle bei Eiserfey in der Eifel

In der Kartsteinhöhle bei Eiserfey in der Eifel wurde am Osteingang von Rademacher (1911) folgendes Profil ergraben:

Postglazial und Ausgang der Würmeiszeit	{ a) Braungelber Lehm mit Steinen. Ganz oben neolithische, latènezeitliche und römische Funde. b) Gelbbrauner Lehm. Magdalénien. c) Stellenweise starke Sinterdecke.
Würmeiszeit	

Übergang	}	e) Gleiche Brekzie, braunrot, mit stärkerer Lehmführung. Spät-moustérien.
		f) Gelber Lehm mit Steinen; oben Spätmoustérien, 60 cm tiefer Frühmoustérien, 30 cm tiefer Acheuléen.
Riß-Würm-Interglazial .	}	g) Etwas bräunlicher Lehm.
		h) Hellgelber Lehm.
Rißbeiszeit		i) Steinschicht.

Der Wechsel vorwiegend steiniger mit mehr lehmigen Schichten kommt in Rademachers Beschreibung unverkennbar zum Ausdruck. Insbesondere hebt sich die Brekzienschicht, kleinstückiger Schutt ohne Porenfülle, sehr deutlich heraus. Die Bildung harten Sinters erfolgte, wie an vielen anderen Orten, nur über dieser Schicht, aber bereits unterhalb des Magdalénienhorizontes. Sowohl unter als über der Brekzienschicht liegt gelber Lehm; dem oberen folgt die gelbbraune Lehmschicht des Magdaléniens, der unteren etwas bräunlicher Lehm, unter dem zunächst ein hellgelber Lehm, dann die Steinschicht über der Höhlensohle abgelagert ist. Schon Rademacher hat die richtige Deutung dieser Ablagerungen gegeben: die unteren Lehmschichten gehören dem Riß-Würm-Interglazial, die Brekzienschicht der Würmeiszeit, die Sinterdecke und die oberen Lehmschichten dem Ausgang der Eiszeit und dem Postglazial an.

Rademacher führt allerdings, den Anschauungen der damaligen Zeit folgend, die Entstehung des Sinters auf den Wechsel vom feucht-kalten eiszeitlichen zum trockenen postglazialen Klima und die dadurch bedingte verstärkte Verdunstung des Tropfwassers zurück. Wir wissen heute, daß sie in erster Linie auf der Zunahme des Regens in der postglazialen Zeit beruht. Daß es sich am Kartstein nicht um lockeren Sintergrus handelt, geht daraus hervor, daß der Sinter die bereits abgelagerten Kalksteinstücke zu einer Brekzie verkittete. In den Ablagerungen des frühen Postglazials ist derartig langsam ausgeschiedener Sinter auch an anderen Orten beobachtet worden, z. B. in der Vogelherdhöhle über dem oberen Magdalénienhorizont (vgl. Riek, Profile VI, VII und VIII).

Nach H. Heck (1925) ist der gelbbraune Lehm der Schicht b verlehmt-jüngerer Löß, der gelbe und bräunliche Lehm der Schichten f und g „älterer Lößlehm bzw. Löß“. Leider liegen über den Lehmgehalt der übrigen Schichten keine Untersuchungen vor.

Im mittleren und hinteren Teil ist die Brekzienschicht nicht ausgebildet worden. Alle Ablagerungen scheinen hier einen stärkeren Lehmgehalt zu haben. Dies ist damit zu erklären, daß sich in der Kartsteinhöhle die Wir-

kung des eiszeitlichen Spaltenfrostes auf den Fels am Eingang beschränkt hat, so daß hier auch infolge der stärkeren Materialanhäufung eine wallartige Erhebung entstehen konnte. Eine Untergliederung des Frostbruchschuttes ist von Rademacher nicht beobachtet worden. Entweder fehlte sie, oder sie war so geringfügig, daß sie ohne eingehende Untersuchung nicht festgestellt werden konnte.

Neuerdings haben sich schwerwiegende Zweifel an der durch Rademacher erfolgten Einweisung der Acheuléen- und Moustérienfunde in das Schichtprofil ergeben⁶⁾. Der Klärung diene eine von Prof. Dr. L. Zotz im Sommer 1939 vorgenommene neue Grabung. Sie gab mir Gelegenheit, an den Sedimenten unter dem Eingang der sog. Kleinen Höhle, von Zotz Grabungsstelle D genannt, eingehende Untersuchungen ähnlicher Art wie in St. Brais I vorzunehmen. Über die Ergebnisse kann hier nur in aller Kürze berichtet werden⁷⁾.

Die Korngrößenuntersuchung lehrte, daß alle Schichten einen sehr beträchtlichen Lehmgehalt haben. Der diluviale Süßwasserkalk, aus dem der Kartsteinfelsen besteht, ist durch lehmige und sandige Beimengungen sehr stark verunreinigt; ich stellte in einer Probe 22,8% aus Lehm, Quarzkörnern und Eisenschuß bestehende Verunreinigungen fest. Diese erscheinen als unverwitterbare Bestandteile in allen Sedimenten, die aus seiner Zerstörung hervorgegangen sind.

Im übrigen lassen die Schichten des Profils D, das über dem anstehenden Kalk beginnt und mit einer Schicht aufhört, in der Magdalénienfunde liegen, starke Unterschiede des Korngrößenaufbaus erkennen, die in Abb. 7 dargestellt sind. Sehen wir in den groben Körnungen von 5—10 mm \varnothing das Ergebnis der Frostwirkung, in den feineren von 0,5—2 mm \varnothing das Ergebnis der auflösenden Tätigkeit des Wassers in regenreichen wärmeren Zeiten, so lehrt das Bild, daß die tiefste Schicht D₇ einer Interglazialzeit, die folgende dem Übergang zu einer Eiszeit und die beiden nächsten, D₅ und D₄ ihrem Höhepunkt angehören müssen. Es erfolgt dann in D₃ ein Rückschlag, der jedoch nicht die für D₇ festgestellten Ausmaße erreicht, also nur als interstadiale Wirkung gedeutet werden kann. Der abermaligen Vermehrung des Frostschuttes in D₂ entspricht eine zweite Eiszeitphase. Dieser folgt in D₁ eine kräftige Abschwächung. Da die darüber liegenden

⁶⁾ Aus diesem Grund sind sie in das oben gegebene Schichtprofil nicht aufgenommen worden.

⁷⁾ Im Rahmen der Gesamtdarstellung dieser neuen Grabung wird eine ausführliche Darstellung der Untersuchung und ihrer Ergebnisse erscheinen.

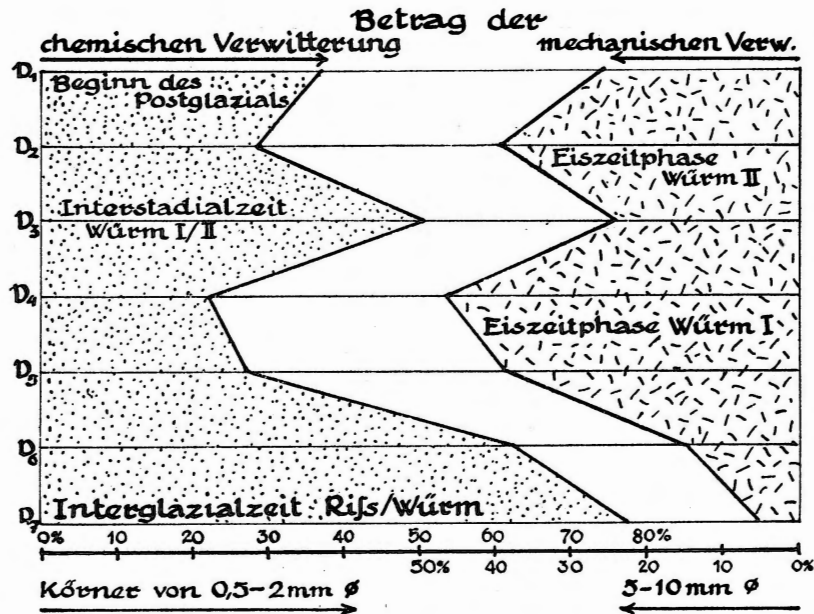


Abb. 7. Sedimente der Kartsteinhöhle bei Eiserfey. Der Korngrößenaufbau und seine Beziehungen zu den Phasen der Würm-Eiszeit.

Schichten gestört waren, ist der weitere Sedimentationsablauf nicht mehr verfolgbar.

Der Korngrößenaufbau der verschiedenen Schichten zeigt eine außerordentlich klare Scheidung zwischen einem im wesentlichen durch chemische Verwitterung hervorgebrachten interglazialen Typus und einem durch Frostwirkung erzeugten glazialen Typus (vgl. Abb. 8). Der interglaziale Typus hat einen nur geringen Anteil grober Körner von mehr als 2 mm \varnothing , dagegen hohe Anteile in den Körnungen von 0,5–2 mm \varnothing . Der glaziale Typus zeigt das entgegengesetzte Bild: eine starke Häufung der groben Anteile von 5–10 mm \varnothing , geringe Anteile in den feinen Körnungen. Dabei ist die Ähnlichkeit der Kurvenbilder für die drei glazialen Sedimente D₅, D₄ und D₂ untereinander erstaunlich groß. Dem Zwischentypus zwischen chemischer und mechanischer Verwitterung gehören die postglaziale Schicht D₁, die interstadiale Schicht D₃ und die Übergangsschicht D₆ an. Dieser Typus ist durch einen relativ hohen Anteil an Körnern der Größe 5–10 mm und einen etwas höheren der Größe 1–2 mm gekennzeichnet. Naturgemäß ist dabei je nach der Stellung innerhalb der Sedimentfolge bald die Ähnlichkeit mit dem glazialen, bald die mit dem interglazialen Verwitterungstypus größer.

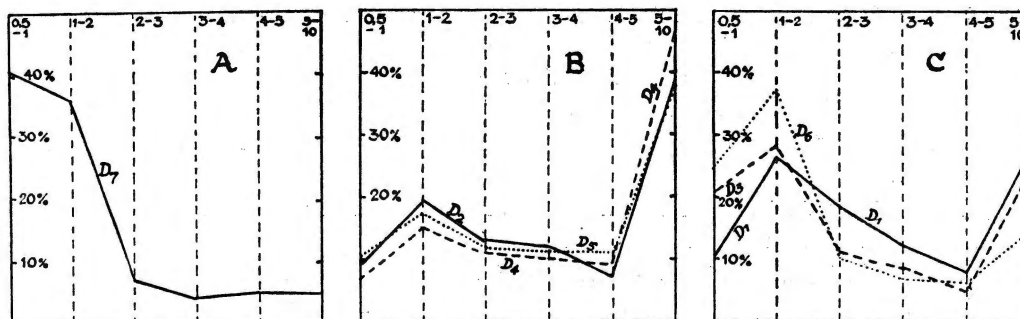


Abb. 8. Sedimente der Kartsteinhöhle bei Eiserfey.

A glazialer, B interglazialer, C Zwischentypus des Korngrößenaufbaus.

Die in Abb. 7 dargestellte Einordnung der Schichten in das Eiszeitschema ergibt sich nun nahezu von selbst.

Mit dem Ergebnis der Korngrößenuntersuchung stimmt die Deutung der Verwitterungsfarben und der Verwitterungsgrade der Kalksteinstückchen, gemessen an ihrer Porosität, völlig überein.

Grundlegende Bedeutung hat die Feststellung, daß die Unterschiede der Sedimentation unter einem eiszeitlichen und zwischeneiszeitlichen Klima sich auch an den Eingängen von Höhlen bemerkbar machen, die vom Rand der diluvialen Gletscher weit entfernt lagen. Vom Kartstein mißt der Weg zum nächsten Rand des alpinen Eises 350 km, zu dem des nordischen Eises 400 km. Am Kartstein hat sich auch die Rückzugsschwankung des Interstadials Würm I/Würm II in erstaunlicher Schärfe ausgewirkt.

8. Die Höhlen des Hönnetals in Westfalen

Die zuletzt von Andree (1928) untersuchten Höhlen des Hönnetals enthalten in den tieferen Teilen ihrer Füllungen fluviatile oder fluviatil umgelagerte Schichten. Hier muß demnach auch mit Abtragungsvorgängen gerechnet werden, die manche Schichten stellenweise entfernt haben. Trotz dieser nicht ganz einfachen Verhältnisse ist in den Höhlensedimenten der diluviale Klimaablauf seit dem Riß-Würm-Interglazial deutlich ausgedrückt und damit der Zusammenhang mit der Sedimentationsabfolge anderer nicht vom Wasser durchflossener Höhlen hergestellt.

Im Hauptarm der Balver Höhle wurden nach Andree unter Benutzung der älteren Untersuchungsergebnisse folgende Schichten ermittelt:

- A: „Sinterdecke“, etwa 1 m mächtig. Kantengerundete und eckige Kalksteinstücke vom Höhlendach sind durch weißen Sinter zu einer Brekzie verkittet. Sie enthält Reste des Neolithikums, Mesolithikums(?) und Magdaléniens. Z. T. zeigte diese oberste Schicht keine Versinterung, sie war als graue Kulturschicht ausgebildet.
- B: „Rentierschicht“, bis zu 3 m mächtig. Dunkelgraue Kulturschicht mit eckigen Kalksteinstücken. Aurignacien.
- B₁: „Lehmschicht“ Virchows, bis 0,95 m mächtig. Lehm mit scharfkantigen Kalksteinen. Nur im Hintergrund der Höhle am Beginn des Südostarmes festgestellt.
- C: „Geröllschicht“ (Bärenschicht), 1—2 m mächtig. Lichtockergelbe lehmartige, aber nicht plastische Erde. Vorwiegend Kalkstein- und Dolomitgerölle bis Kopfgröße, andere Gerölle aus dem Einzugsgebiet der Hönne spärlich. Im Hintergrund der Höhle (Virchow-Arm und Dechen-Arm) traten im oberen Teil dieser Schicht außer den Kalkgeröllen auch zahlreiche nur kantengerundete oder eckige Stücke vom Höhlendach auf. Im unteren Teil waren diese eckigen Stücke selten. Stellenweise bestand diese Schicht hauptsächlich aus nuß- bis eigroßen Geröllen; die lehmige Füllmasse war dann spärlich. — Die Gerölle und Kalksteinstücke waren nicht verwittert. Werkzeuge des „vollendeten Moustériens“.
- C₁: Stellenweise war die Geröllschicht von einer dunklen Kulturschicht(?) von 0,5—0,85 m Mächtigkeit unterlagert, in der wohlgerundete, stark verwitterte Gerölle äußerst zahlreich waren. Sie enthielt Werkzeuge des Früh-Moustériens.
- D: „Mammutschicht“ 3—6 m mächtig. Hellgraugelblicher Lehm mit teils ganz abgerollten, teils kantengerundeten stark verwitterten Kalksteinstücken. Auf der Felssohle beträchtliche Anhäufung der Gerölle und Steine. In den hinteren Höhlenteilen waren die nur kantengerundeten und eckigen Stücke häufiger. Werkzeuge des Früh-Moustériens.

Zunächst sei darauf hingewiesen, daß auch hier die Sinterbildung ganz jung ist, erst nach dem Magdalénien eingesetzt hat. Sie hat sich mindestens bis in das Neolithikum hinein erstreckt.

Die völlige Verbackung der Kalksteinstücke der Schicht A lehrt, daß diese ursprünglich keine oder keine bedeutende lehmige Porenausfüllung gehabt haben kann. Wir müssen demnach zum mindesten ihre tieferen Teile als Frostbruchschutt deuten. Frostbruch scheint auch am Aufbau der darunter liegenden Schicht B beteiligt zu sein. Vielleicht gilt dies auch für die nur örtlich auftretende Schicht B₁.

Die tieferen Schichten sind fluviatil beeinflusst. Gleichwohl zeigt ihr Aufbau deutlich die klimatischen Bedingungen ihrer Entstehung.

In Schicht C sind die helle Farbe und geringe Bildsamkeit der feinkörnigen Bestandteile, die teilweise nur geringe Menge der Porenfülle und der frische Zustand der Gerölle ausnahmslos Merkmale der Verwitterung unter einem kalt-ariden, eiszeitlichen Klima mit kräftiger mechanischer und zurücktretender chemischer Verwitterung.

Im Gegensatz dazu enthielten die beiden untersten Schichten C₁ und D stark zersetzte Gerölle und Kalksteinstücke, die auf stärkere chemische

Verwitterung hindeuten. Da diese Veränderung auch die nur kantengerundeten und eckigen Stücke ergriffen hat, die wohl größtenteils aus der Höhle selbst stammen, ergibt sich für die Zeit ihrer Ablagerung kein ausgesprochen eiszeitliches Klima.

Wir müssen demnach die Schichten D und C₁ dem Vorstoß der Würmeiszeit, C, B₁, B und einen Teil von A ihrem Höchststand, die Versinterung von A dem Postglazial zuweisen. Das Wirken der Interstadialzeit Würm I/Würm II kommt vielleicht darin zum Ausdruck, daß die Lehmschicht B₁ durch Erosion größtenteils wieder abgetragen worden ist.

Ein ähnliches aber weniger reich gegliedertes Profil wurde in der Feldhof-Höhle bei Binolen festgestellt. Über einer Magdalénien (?) und Aurignacien führenden Schicht lag auch hier eine starke Sinterdecke, in der sich neolithische Reste fanden. In zwei anderen Höhlen wird die Sinterdecke noch von jüngeren Schichten überlagert. Diese führten in der Honert-Höhle bei Binolen Überreste der vorrömischen Eisenzeit, in der Leichenhöhle bei Binolen Bronzegegenstände, die von Andree nicht datiert wurden. Daraus ergibt sich, daß die Sinterbildung zum mindesten teilweise bereits vor der vorrömischen Eisenzeit ihren Abschluß gefunden hatte. Andererseits ist sie nicht nur sicher jünger als das Aurignacien, sondern auch wahrscheinlich jünger als das Magdalénien, das sie in der Balver Höhle mit den Steinen zu einer Brekzie verkittete.

Im ganzen betrachtet scheinen in den Ablagerungen der Höhlen des Hönnetals die lehmigen Bestandteile stärker vertreten zu sein als der Kalksteinschutt. Ob dies mit der starken fluviatilen Beeinflussung der Höhlen oder den Besonderheiten des mittel- und oberdevonischen Massenkalks zusammenhängt oder klimatische Ursachen hat, läßt sich nicht entscheiden.

9. Die Backofen-Höhle in Mähren

Von Absolon und Czižek (1932) sind in der Backofen-(Pekárna-)Höhle folgende im wesentlichen übereinstimmende Profile festgestellt worden:

I.	II.
A. Humus und Schutt, Neol.—Gegenwart	A. Humus.
B. Verwitterte Bergmilch = lockerer Kalksinter	B. Dunkelbrauner Lehm, Neol.
C. Dunkelbrauner Lehm, Magdalénien.	C. Bergmilch.
D. Gelber Lehm, Aurignacien.	D. Schwarzbrauner Lehm, Magdalénien.
E. Gelber Lehm, steril.	E. Gelber Lehm, Aurignacien.

Steine vom Höhlendach sind, wie die Abbildungen lehren, allen Ablagerungen reichlich beigemischt. Einzelheiten über ihre Form, Größe

und den Mengenanteil lassen sich daraus jedoch nicht entnehmen. Auch der Text gibt keinen weiteren Aufschluß.

Sinterbildungen schalten sich, wie anderwärts, zwischen die neolithische und magdalénienzeitliche Ablagerung ein. Diese ist hier wahrscheinlich durch einen erheblichen Gehalt an Kohle und Humusstoffen dunkel gefärbt. Dagegen zeigt die Aurignacienschicht und der untere sterile Lehm die für eiszeitliche Ablagerungen charakteristische Gelbfärbung.

10. Die Potočka-Höhle im Olschewa-Gebirge in Jugoslawien

Die Potočka-Höhle liegt in 1700 m Höhe am Südhang des langgestreckten Olschewa-Gebirges in den Ostkarawanken. Sie ist von S. Brodar ausgegraben, der u. a. im I. Band dieses Jahrbuches über seine Ergebnisse berichtet. Ich konnte für die folgende Darstellung außerdem ein noch unveröffentlichtes Manuskript benutzen, das mir Herr Prof. Dr. Brodar in liebenswürdigster Weise zur Verfügung stellte. Mündliche Besprechungen ergänzten diese Berichte.

S. Brodar hat die Sedimente der Potočka-Höhle sehr sorgfältig, wenn auch nicht messend und wägend untersucht. Seine Ergebnisse sind im Rahmen dieser Zusammenstellung besonders wichtig, weil die große Höhenlage der Höhle und die hier zu allen Zeiten stärkere Frostwirkung eine etwas andere Sedimentation bewirkte, als sie bisher geschildert wurde.

In der 115 m langen Höhle wurden im allgemeinen folgende Schichten gefunden⁸⁾:

Schicht	Ausbildung	Fauna	Klima	Menschl. Besiedlung
A	Am Eingang dünne Lage von Schutt	—	Neuerliche Frostwirkung	—
B	Weißer lockerer Sinter	—	regenreich	—
	Unterbrechung der Sedimentation. Höhle ganz mit Eis gefüllt	—	hocheiszeitlich	—
C u. D	Scharfkantiger Schutt, mit braunem Lehm vermischt	Höhlenbär, Mochusochse, wenig andere Arten	Weitere Klimaverschlechterung	M. anwesend, aber keine Feuerstellen

⁸⁾ Das Profil gibt die zusammenfassende Darstellung in der oben erwähnten Arbeit Brodars sehr gekürzt wieder. Sie ist inzwischen erschienen (Brodar 1939). Um den Vergleich mit dem in Quartär I, S. 154 u. 155 geschilderten Profil zu erleichtern, sind die dort benutzten Schichtbezeichnungen beigelegt. — Die Spalte „Klima“ ist von unten nach oben zu lesen.

Schicht	Ausbildung	Fauna	Klima	Menschl. Besiedlung
E	Vom Eingang bis z. mittleren Teil: linsenförmige Einlagerung stumpfkantigen Schuttes	Höhlenbär	Verschlechterung des Klimas	M. nur kurz in der Höhle
	Stellenweise mächtiger weicher Sinter	—	Vermehrg. d. Niederschläge. Keine Frostwirkung mehr	—
F und G	Untere Kulturschicht: grober bis feiner scharfkantiger Schutt mit Lehm- und Bachgeröllstreifen	Höhlenbär, warme Fauna, darunter Waldtiere	Kontinental. Klima. Höhle im Sommer eisfrei. In langen Wintern starke Frostwirkung	Feuerstellen. Zahlreiche Kulturreste des mittleren Aurignaciens
H	Stellenweise scharfkantiger Schutt, stellenweise v. Menschen eingebrachte Bachgerölle, stellenweise tieferer Lehm	Warme Wirbeltierfauna	Günstiges Klima	M. erstmals anwesend
I	Große Versturzböcke, von dünner Lage braungrauen Sinters überzogen	—	Im Sommer Temp. über 0°	—

Nach Brodar gehört die ganze Schichtenfolge H bis C dem ausgehenden Riß-Würm-Interglazial an. Lehmige und sinterige Ablagerungen sind an ihrem Aufbau beteiligt; sie treten jedoch hinter dem Grobschutt allenthalben zurück. Denn Brodar betont (Quartär I), daß alle Schichten so locker waren, daß nur ein Terrassenabbau möglich war. Die Frostwirkung muß also während der Bildungszeit dieser Schichten fast immer sehr beträchtlich gewesen sein. Sie ist mit der bedeutenden Höhenlage der Höhle, mit ihrer geringen Überdeckung und ihrer Weiträumigkeit zu erklären. Roter Lehm, also eine Bildung, die dem Höhepunkt eines Interglazials entspricht, wurde in der Nähe des Eingangs nur an der Basis des Profils ergraben. — Der Höhepunkt der Würmeiszeit ist durch eine Unterbrechung der Sedimentation gekennzeichnet: die Höhle war damals ganz mit Eis ausgefüllt. Brodar kommt auf Grund seiner außerordentlich zahlreichen Temperaturbeobachtungen zu dem Schluß, daß die eiszeitliche mittlere Sommertemperatur im Höhleneingang $-2,6^{\circ}$ C, im Schlußteil $-1,0^{\circ}$ C betrug.

Sehr beachtenswert sind auch Brodars Folgerungen über den Ablauf des Klimas der Riß-Würm-Interglazialzeit. Der scharfkantige Schutt der Schicht H und die eingelagerten Lehmstreifen deuten zusammen mit der

Fauna auf starke Frostwirkung im Winter und Abschmelzen des Eises im Sommer, also auf kontinental getöntes Klima hin. Die darüber abgelagerte mächtige Sinterschicht lehrt, daß eine Zeit vermehrter Niederschläge und verminderten Frostes folgte. Sie wurde in E von einer Zeit vermehrter Frostschuttbildung abgelöst; es muß aber die sommerliche Durchfeuchtung immer noch so stark gewesen sein, daß die Kanten der Steine durch Verwitterung abgerundet werden konnten. Schicht C und D, der scharfkantige Schutt, ist unter weiter verstärkter Frostwirkung gebildet. Ihm folgte schließlich der Hochstand der Würmeiszeit, in dem die Höhle mit Eis gefüllt, jegliche Sedimentation also unterbunden war.

Im hintersten Teil der 115 m langen Höhle scheinen i. a. die lehmig-sinterigen Ablagerungen zu überwiegen. Steiniger Schutt wird nur aus dem ersten Meter über den großen Felsbrocken erwähnt. Dies würde damit erklärt werden, daß die Frostwirkung i. a. während der interglazialen Winter nicht bis in den hintersten Höhlenteil reichte. Auch in den hochgelegenen Höhlen der Schweizer Alpen überwiegen in den hinteren Teilen die lehmig-sinterigen Bildungen. Davon wird später die Rede sein.

Die bisher besprochenen, in den eingangsnahen Teilen der Höhlen festgestellten Sedimente lassen unschwer eine ganze Anzahl gemeinsamer Eigenschaften erkennen; sie sollen hier zusammenfassend herausgestellt werden:

Spätes Postglazial: Die obersten Schichten kennzeichnet allgemein ein *starker Humusgehalt* und *braune Farben*. Vielfach enthalten sie *plumpe Steine* mit *gerundeten Kanten*; die kleinen Steine sind stark *ausgelaugt*.

Nach unten wird der Gehalt an Steinen größer, die Farbe mehr grau. Neolithische Schichten enthalten manchmal *sehr viel lockeren Sintergrus*. Dieser findet sich aber auch darüber und darunter, oben meist nur in geringer Menge. Nach unten nimmt der Schuttgehalt zu.

Neolithikum und spätere Kulturen.

Frühes Postglazial: *Sehr kleinstückiger eckiger Schutt* (erbsengroß) oder *stark lehmige Sedimente* von *gelber Farbe*. Sintergrus fehlt oder ist spärlich.

Mesolithische Kulturen.

Eiszeit Würm III + Würm II: *Gröberer mittel- bis kleinstückiger Schutt* mit wenig Porenfülle von *gelber Farbe*. Selten treten gelblichbraune und braune Farben und ein stärkerer Lehmgehalt auf.

Magdalénien.

Interstadial Würm I/Würm II: *Kleinstückiger und sehr kleinstückiger Schutt* mit wenig *gelbbrauner* oder *hellbrauner* Porenfülle, oder gelber bis dunkler Lehm mit kantigem Schutt. In Mauern Verlehmung des jüngeren Lößes.

Aurignacien.

Eiszeit Würm I: *Grober eckiger Schutt*, unverwittert, mit wenig *lößfarbener* Porenfülle.

„Jungacheuléen und Moustérien“ (Vogelherd)⁹.

⁹) Für die beiden letzten Stufen sind die eingelagerten Kulturen mit der Originalbezeichnung ihrer Autoren angeführt.

Interglazial Riß-Würm: Ockergelber, auch hellgelber, grauer und bräunlicher *Lehm* mit *stark zersetzten und gerundeten Steinen*.

„Kultur der Höhlensohle“ (Vogelherd), „Moustérien und Altmühlstufe“ (Mauern), „Frühmoustérien“ (Balver Höhle).

Dieses Schema bedarf dringend der Nachprüfung und Ergänzung durch neue Ausgrabungen. Es ist aus wenigen genauen Untersuchungen und einer größeren Anzahl sehr unvollkommener Beschreibungen gewonnen. Es will lediglich als Beweis dafür gelten, daß die Wandlungen des quaritären Klimas unter gewissen gleichen Bedingungen in der Sedimentation ihren gleichen Ausdruck gefunden haben.

IV. DIE SEDIMENTE AUS DEM WILDENMANNLISLOCH AM SELUN

Dem verdienten Entdecker des alpinen Paläolithikums, Herrn Dr. E. Bächler in St. Gallen, verdanke ich die Möglichkeit, daß ich die Sedimente aus dem Wildenmannlisloch einer eingehenden Untersuchung unterziehen konnte.

Die Höhle liegt in 1628 m Meereshöhe am Selun in den Churfürsten. Sie hat etwa 140 m Gesamtlänge. Die Proben stammen aus der 60 m hinter dem Eingang liegenden sog. Höhlenkammer. Hier hat Bächler durchgehend folgende Schichten festgestellt:

- I. Humose Oberflächenschicht mit Resten rezenter Tiere, 40—60 cm mächtig.
- II. Grauweiße Schicht, ohne Tierreste, 25—42 cm mächtig.
- II/III. Übergangsschicht von II zu III, ohne Tierreste. Grauweiße Teile, hier mit II/III a bezeichnet, lassen sich leicht von mehr gelblich- oder bräunlichweißen (II/III b) trennen. Die Mächtigkeit der Übergangsschicht ist gering; sie wird von Bächler nicht näher angegeben.
- III. Braune bis braunrote Kulturschicht mit zahlreichen Knochen, vor allem vom Höhlenbären, und menschlichen Artefakten, 45—60 cm mächtig.
- IV. Untere grauweiße Schicht, ohne Tierreste und sonstige Funde, 140 bis 220 cm mächtig.

In welcher Höhe der teilweise recht mächtigen Ablagerungen meine Proben entnommen waren, ließ sich nachträglich natürlich nicht mehr feststellen. Die Schichten enthielten größere und kleinere Steine in unbedeutender Menge. Untersucht wurde nur das feine steinfreie Material.

1. Der Karbonatgehalt

Es wurden folgende Karbonatgehalte festgestellt:

Schicht	Karbonate	Unlöslicher Rückstand
I	2,9%	97,1%
II	77,0%	23,0%
II/IIIa	41,5%	58,5%
II/IIIb	23,5%	76,5%
III	32,5%	67,5%
IV	39,5%	60,5%

Im engen Schlauch des Wildenmannsloches ist nach den Beobachtungen Bächlers die Luftbewegung außerordentlich gering. In der Höhlenkammer herrscht im allgemeinen große Luftfeuchtigkeit. Es kann daher nur wenig Wasser verdunsten und nur aus starken oder gesättigten Lösungen viel Kalk ausgefällt werden. Es gelten also hier die auf S. 61, unten, dargestellten Verhältnisse.

Demnach sind die lehmreichen Sedimente I, II/III b und III während regenreicher Perioden entstanden, die sinterreichen Sedimente II (mit II/III a) und IV aber in Zeiten, in denen wenig Wasser durch das Höhlendach getreten ist.

2. Die Farben der lehmigen Bestandteile

Da bei sinterreichen Sedimenten die Farben der lehmigen Bestandteile vom Weiß des Sinters überlagert und verdeckt werden, war es notwendig, die Sedimente zunächst zu entkalken. Dies geschah mit kalter 1%iger Salzsäure. In Probe I wurde auch der Humusgehalt entfernt.

Schicht	A	B
	Natürliches Sediment, nicht entkalkt	Karbonat- und humusfreier Rückstand
I	kräftig graubraun	graubraun, kaum heller als I A
II	hell grauweiß	dunkler grauweiß als II A ohne jeden gelblichen Stich
II/IIIa	hell grauweiß	sehr hell gelblichgrau
II/IIIb	weißlichgelb	hellgelbbraun mit leichtem rötlichem Stich, erheblich kräftiger gefärbt als II/III b A
III	graubraun, erheblich heller als I A	gelblichbraun mit leichtem Graustich, heller als III A
IV	zart gelblichweiß	hell gelbbraun, erheblich dunkler als IV A

Aus dieser Zusammenstellung ergibt sich als bemerkenswerteste Tatsache, daß nur der lehmige Rückstand der Schicht II grauweiß, alle übrigen aber gelb, gelbbraun oder graubraun gefärbt sind. Nach den Ausführungen auf S. 64 muß jener also unter wesentlich anderen klimatischen Bedingungen entstanden sein als alle übrigen.

Wir müssen im Hinblick auf die tiefliegende Maximaltemperatur von 6° C, die Bächler in der Höhlenkammer gemessen hat, annehmen, daß die gelb- und gelbbraun gefärbten Komponenten des Rückstandes der Schichten I, II/III, III und IV außerhalb der Höhle, auf der Oberfläche des Selunerrucks entstanden sind, und es ist kein Grund dafür vorhanden, daß in Schicht II etwa keine von der Oberfläche her eingeschwemmten Bestandteile vorhanden wären. Daß alle Rückstände die gleiche Farbe hätten annehmen können, wenn sie den gleichen Verwitterungsbedingungen unterworfen gewesen wären, läßt sich leicht nachweisen. Glüht man sie einige Minuten lang im offenen Porzellantiegel, so nehmen sie alle eine lichte ziegelrote Farbe an; diese ist nur beim Rückstand von II etwas heller als bei den übrigen. Daraus ergibt sich abermals die Folgerung, daß bei diesem Rückstand ein geringerer Teil des Eisengehaltes in leicht oxydierbare Form übergeführt worden ist, daß er also einer andersartigen Verwitterung ausgesetzt gewesen ist als die übrigen. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang auch die Tatsache, daß der graue Rückstand, der bei der Auflösung frischer Stücke von Seewerkalk in verdünnter Salzsäure übrig bleibt, beim Glühen nur einen ganz schwachen rötlichen Schimmer annimmt. Sie lehrt, daß die nicht karbonatischen Bestandteile der Höhlensedimente außer der Herauslösung aus dem Muttergestein noch eine gewisse Zersetzung erfahren haben müssen.

Fassen wir alles zusammen, so können wir sagen, daß während der Ablagerungszeiten der Schichten I, II/III, III und IV an der Oberfläche über der Höhle Braun- und Gelbverwitterung herrschte, während der Zeit II diese Verwitterungsart aber unterbrochen war. Es müssen also während dieser Zeit an der Oberfläche ganz wesentlich tiefer liegende Hochsommertemperaturen geherrscht haben, als vorher und nachher.

3. Der Humusgehalt

Zur Beurteilung des Gehaltes an Humusstoffen wurden in Anlehnung an das von E. Melin und S. Odén (1917) ausgearbeitete Verfahren jeweils 5 g Substanz mit 40 cm³ 15-prozentiger Natronlauge 10 Minuten lang

gekocht, nach dem Erkalten auf 50 cm³ verdünnt und filtriert. Die Lösungen zeigten in 15 mm dicker Schicht folgende Farben:

I	II	II/III	III	VI
dunkel- kaffeebraun	ganz zart hellbraun	mäßig braun	kräftig braun	zart hellbraun, dunkler als II
1	0,01	0,1	0,2	0,02

Die Zahlen bedeuten den relativen Humusgehalt, bezogen auf den Humusgehalt von I, der gleich 1 gesetzt wurde. Sie wurden kolorimetrisch ermittelt.

Nach Bächlers Feststellungen fanden sich in Schicht I Knochen vom Fuchs, Marmelotier, Schneehasen, der Schneemaus und anderen. Da diese Tiere pflanzliche Stoffe in ihre Schlupfwinkel und Winterlager tragen, ist es möglich, daß der Humusgehalt der Schicht I von der Zersetzung solcher Stoffe herrührt. Gleiches kann für die Kulturschicht III gelten, in die der Mensch sicher Laub, Heu, Holz usw. eingebracht hat. Es fällt allerdings schwer, anzunehmen, daß der ganze Humusgehalt dieser Schichten einen derartigen Ursprung habe. In den übrigen Schichten kann der Humusgehalt sicher nicht aus dieser Quelle stammen, und es ist auch nicht wahrscheinlich, daß er aus den darüber liegenden Schichten infiltriert ist. Wir müssen dann annehmen, daß er mit den lehmigen Bestandteilen vom Sickerwasser aus Ablagerungen über dem Höhlendach auf den Höhlenboden geschwemmt worden ist. Wenn diese Deutung zutrifft, so beweisen die Humusgehalte, daß während der Ablagerungszeiten der Schichten I und III über dem Höhlendach eine starke Pflanzendecke wurzelte; diese muß während der Zeiten II und IV gefehlt haben oder kann nur ganz schwach gewesen sein. Natürlich kann während der Zeiten I und III durch Tiere und Menschen eine zusätzliche Vermehrung des Humusgehaltes stattgefunden haben.

Wir fassen die Ergebnisse zusammen:

Schicht II ist in einer Zeit entstanden, in der nur sehr wenig Wasser durch das Höhlendach dringen konnte, die Temperatur an der Oberfläche sehr viel niedriger lag als heute und eine Vegetationsdecke fehlte. Derartige Verhältnisse können nur während einer Eiszeit verwirklicht gewesen sein, als der Selunerruck während eines Großteils des Jahres eine Schneedecke trug. Ähnliche, wenn auch nicht so scharf ausgeprägte Verhältnisse müssen auch zur Ablagerung der unteren hellen Lehm-

schicht IV geführt haben. Damals scheint mehr Wasser durch das Höhlendach getreten zu sein; die Hochsommertemperaturen an der Oberfläche waren zwar noch niedrig, aber höher als zur Zeit III und die Pflanzendecke schwach. Auf Grund dieser Folgerungen setzen wir die Entstehung der Schicht IV in den Ausgang einer Eiszeit. Im Gegensatz zu diesen beiden Ablagerungen müssen die Kulturschicht III und die gelblichen Teile der Übergangsschicht (II/III b) als Ablagerungen eines niederschlagsreichen und warmen Klimas gedeutet werden. Bedenken wir, daß ihr nicht sehr hoher, aber immerhin zweitgrößter Humusgehalt vielleicht nur noch der Rest eines ursprünglich viel bedeutenderen ist, so dürfen wir vermuten, daß der Selunerruck damals Wald getragen hat. Mit Bestimmtheit darf dies für die Oberflächenschicht I angenommen werden. Die Bewaldung des Selunerrucks ist erst in jüngster Zeit durch menschliche Eingriffe beseitigt worden.

Es ergibt sich nunmehr, lediglich auf Grund dieser sedimentpetrographischen Untersuchungen folgende Deutung des Profils: Schicht I gehört dem Postglazial, Schicht II der Würm-Eiszeit, Schicht III dem Riß-Würm-Interglazial und Schicht IV der ausgehenden Riß-Eiszeit an.

Man könnte noch die Möglichkeit in Betracht ziehen, daß der obere lehmige Sinter (Schicht II), der als Absatz der gesamten Würm-Eiszeit (Würm I + Würm II + Würm III) gedeutet wurde, nur der letzten bedeutenden Vergletscherungsphase der Würmeiszeit, der Würm-II + Würm-III-Zeit, angehöre und die darunter liegenden Schichten der ausgehenden Würm-I-Zeit und dem Würm-I-Würm-II-Interstadial zuzuschreiben wären.

Einer solchen Auffassung muß folgendes entgegengehalten werden. Die gleichartige Ausbildung der Oberflächenschicht beweist, daß die kleineren Klimaschwankungen des Postglazials in der Sedimentation keinen Ausdruck gefunden haben. Es kann somit nicht zweifelhaft sein, daß auch die Auswirkungen der Interstadialzeiten innerhalb des Alpengebietes sehr viel geringer waren als im Vorland. Man könnte höchstens annehmen, daß im Höhepunkt eines Interstadials ähnliche klimatische Verhältnisse geherrscht hätten wie während eines Interglazials. Ihre Dauer war jedoch viel zu kurz, als daß sich eine Lehmschicht von der Mächtigkeit der Schicht III, im Durchschnitt 55 cm, hätte bilden können.

Aus diesem Grund erscheint mir die Zuweisung der Schicht III in ein Interstadial unmöglich.

Die steinzeitliche Kulturschicht des Wildenmannlisloches gehört dem Riß-Würm-Interglazial an.

Damit wird die auf Grund anderer Beweismittel von Bächler immer vertretene Auffassung bestätigt. Im Hinblick auf die außergewöhnliche Bedeutung, die einer sicheren Einweisung des alpinen Paläolithikums in den Zeitablauf des Quartärs zukommt, möge nochmals darauf hingewiesen werden, daß die hier gegebene Datierung einzig und allein auf Grund petrographischer Merkmale der Höhlensedimente vorgenommen worden ist. Es wurden weder die Typologie der Werkzeuge, noch die Fauna der Kulturschicht, noch irgend welche Erwägungen über die Zugänglichkeit und Bewohnbarkeit der Höhle, noch geologische Befunde herangezogen.

V. ÄHNLICHE SCHICHTPROFILE IN ANDEREN HÖHLEN

1. Das Drachenloch ob Vättis im Taminatale

Das Drachenloch liegt in 2445 m Meereshöhe im Seewerkalk der Grauen Hörner-Calanda-Ringelkette. Es ist die höchste der alpinen Höhlen, die paläolithische Funde geliefert haben.

Eine eingehende petrographische Untersuchung der Sedimente steht noch aus. Die bereits von Bächler (1921) festgestellte äußere Ähnlichkeit der Schichten legt aber die Vermutung nahe, daß sie auch ähnlich zusammengesetzt und entstanden sind wie die des Wildenmannlisloches. Im Drachenloch scheinen sie jedoch größere Mengen von Steinen zu enthalten. In den Schichten III bis V des von Bächler in Abb. 15 wiedergegebenen Profils, das aus 25 bis 47 m Entfernung vom Eingang stammt, stecken stark zersetzte Seewerkalkstücke mit abgewitterten runden Kanten, während die Schicht II eckige und verhältnismäßig frische Stücke lieferte. Wenn wir wie im Wildenmannlisloch die braunen Lehmschichten III bis V in das Riß-Würm-Interglazial stellen, für das wir eine reichliche Wasserdurchfuhr durch das Höhlendach annehmen müssen, so wäre die Zersetzung der Kalke mit seiner starken Auslaugung zu erklären, während die Stücke der würmeiszeitlichen Schicht II infolge der geringen Zufuhr stark kalkhaltigen Wassers kaum verwittert sein können. Es ist daher m. E. nicht notwendig, an eine nach der Ablagerung erfolgte subterrane Verwitterung zu denken. Auffallend ist dabei die Feststellung Bächlers, daß die untere weiße Schicht VI keinen gröberen Schutt enthält. Solange eine genaue

Untersuchung aussteht, kann eine Erklärung dieses Unterschiedes gegenüber der oberen weißen Schicht nicht versucht werden.

Auch im Drachenloch muß die Färbung der Schichten — dies kann auch ohne Untersuchung gesagt werden — mit der Zufuhr von Verwitterungsmaterial erklärt werden, das jeweils an der Oberfläche über der Höhle lag. Während des Riß-Würm-Interglazials herrschte Braun- und Rotverwitterung, im Riß- und Würmglazial ist diese unterblieben.

2. Die Wildkirchlihöhlen im Säntisgebirge

Auch die Sedimente der im Schrattenkalk des Säntisgebirges in 1477 bis 1500 m Meereshöhe gelegenen Wildkirchlihöhlen sind bis jetzt keiner eingehenden Untersuchung unterworfen worden.

Wichtig ist vor allem das Profil aus der sog. Kellerhöhle, das Bächler (1936) in Abb. 23 wiedergibt. Der hier abgegrabene Teil der Schichten ist 16 bis 21 m vom Eingang entfernt. Im Hintergrund steigt hier die Decke zu einem gegen 30 m hohen oben geschlossenen Kamin an, aus dem ständig, Sommers und Winters, Wasser tropft. Das Ende des Kamins ist nicht weit von der Oberfläche des Berges entfernt. Es muß angenommen werden, daß zu allen Zeiten innerhalb dieses Kamins Temperaturen mit geringeren Schwankungen geherrscht haben, als in der eigentlichen Kellerhöhle, in die vom Eingang her die kalte Luft eindringen konnte. Das Sickerwasser hat hier infolge seines kurzen Weges durch das Höhlengestein einen geringen Kalkgehalt.

Das Profil läßt fast genau dieselbe Schichtenfolge erkennen, wie sie im Drachenloch festgestellt wurde. Unter einer dunkel gefärbten postglazialen Schicht liegt hellgelber Lehm ohne Funde, dann ein Komplex von vier hell- bis dunkelbraunen Kulturschichten, dann auf dem Fels aufruhend abermals eine fundlere Lage hellgelben Lehms. Auch hier ist die untere rißeiszeitliche Schicht frei von Steinen; die braunen Lehmschichten des Riß-Würm-Interglazials enthalten ziemlich viele rundliche stark zersetzte Steine; in der oberen würmeiszeitlichen Schicht stecken ebenso wie in der Oberflächenschicht zahlreiche nur wenig verwitterte Stücke.

Das andere von Bächler wiedergegebene Profil (Abb. 24 bei Bächler) stammt aus viel geringerer Entfernung vom Eingang. Es zeigt infolge des viel stärkeren Einflusses der außerhalb der Höhle herrschenden Witterungsverhältnisse eine erheblich reichere Gliederung des mittleren Teils. Die beiden hellen Lehmschichten treten aber auch hier auf.

In den drei zuletzt besprochenen alpinen Höhlen herrscht eine derartig auffallende Übereinstimmung der im Innern festgestellten Sedimentationsabfolge, daß gemeinsame Ursachen angenommen werden müssen. Diese können in nichts anderem als in den Wandlungen des quartären Klimas gesucht werden. Die Einweisung der Kulturschichten in das Riß-Würm-Interglazial, die durch die petrographische Untersuchung der Schichten aus dem Wildenmannlisloch sichergestellt werden konnte, gilt auch für die beiden anderen Höhlen. Ob man hoffen darf, daß damit der Streit um das Alter des alpinen Paläolithikums sein Ende gefunden habe?

VI. SCHLUSSBETRACHTUNGEN

Die Untersuchung der Schichten aus der Höhle St. Brais I, vom Schweizerbild, aus dem Wildenmannlisloch und der Kartsteinhöhle lehrt zusammen mit den aus der Literatur herangezogenen Beispielen, daß die Sedimentation innerhalb der Höhlen örtlich beschränkten Ursachen viel weniger unterworfen ist, als bisher angenommen werden durfte. In der Zusammensetzung der Höhlenschichten drücken sich vielmehr Einflüsse aus, die über weite Räume hin Geltung haben. Es sind die Wandlungen des quartären Klimas, die sich in der Sedimentation der Höhlen mindestens ebenso stark ausprägen, wie in den Ablagerungen des Freilandes.

Naturgemäß herrschen im Bereich der Höhleneingänge, wo sich die Schwankungen der Lufttemperatur zwar abgeschwächt aber doch noch sehr deutlich auswirken, andere Gesetze der Verwitterung und Sedimentation als tief im Innern der Höhlen, wo die Temperatur nur wenig um einen niedrig liegenden Mittelwert schwankt und die Luftbewegung und damit die Verdunstung des Wassers vielfach äußerst geringfügig ist. Das Gestein der Höhlenwände, seine Bankung und Klüftung, die Art und das Ausmaß der Überdeckung, die Höhenlage und Gestalt der Höhle, die Exposition ihres Einganges, die Wetter- und Wasserführung, die Art der Verbindungen mit der Oberfläche beeinflussen die Sedimentation oft schon in den verschiedenen Teilen ein und derselben Höhle, sicher aber in verschiedenen Höhlen sehr beträchtlich. Es ist daher nicht möglich, eine allgemeingültige Typologie der Höhlensedimente zu geben, aus der für alle Fälle der Klimaablauf während des Diluviums und Alluviums abgelesen werden könnte. Doch ist es ebensowenig zweifelhaft, daß unter strenger Beachtung der in den einzelnen Höhlenteilen oder Höhlen herrschenden besonderen Verhältnisse die Untersuchung der Höhlensedimente weitrei-

chende Schlüsse über das Klima der jüngsten geologischen Vergangenheit ergeben muß.

Damit ist es dann auch möglich, die Höhlenschichten mit Sicherheit in die Abfolge der Eiszeiten und Zwischeneiszeiten einzureihen, ohne daß es nötig ist, organische Reste oder archäologische Einschlüsse heranzuziehen. Man wird aber das weitere Ziel erstreben müssen, auch die kleineren Schwankungen des Klimas, wie sie etwa während der Interstadialzeiten und im Postglazial auf anderen Wegen erschlossen worden sind, aus der Sedimentation der Höhlen herauszulesen. Dafür, daß dies möglich sein wird, liegen heute schon unverkennbare Anzeichen vor. Die klimatische und zeitliche Einweisung der in den Höhlen auftretenden menschlichen Kulturüberreste wird dann auch in den Fällen möglich sein, in denen die Typologie der Artefakte versagt oder keine klare Auskunft gibt.

Es scheint allerdings, als ob man auf diesem Weg keinen Aufschluß über das Klima der vor der Rißeiszeit liegenden Perioden erhalten könne. Denn die Hunderte von Höhlen, die in Europa bisher erforscht worden sind, enthalten mit ganz wenigen Ausnahmen nur Ablagerungen, die nicht älter sind als das Riß-Würm-Interglazial oder die Rißeiszeit selbst. Dies ist eine der seltsamsten Tatsachen aus dem gesamten Bereich der Höhlenkunde. Ihre Allgemeingültigkeit nötigt zu der Annahme, daß sie durch eine allgemeingültige Ursache hervorgerufen sei. Es ist hier nicht der Ort, auf dieses Problem näher einzugehen; aber soviel kann gesagt werden, daß diese Ursache offenbar klimatischer Art ist, daß sie mit dem sog. großen Interglazial in Zusammenhang steht.

Man kann es heute nur bedauern, daß in Europa hunderte von Höhlen ausgegraben worden sind, ohne daß eine genaue Untersuchung ihrer Sedimente durchgeführt wurde. Es ist, von wenigen rühmlichen Ausnahmen abgesehen, sehr schwer, aus der vorhandenen Literatur über die Zusammensetzung der Höhlensedimente Genaueres zu erfahren. Mit den Benennungen Höhlenlehm, steinige Schicht, Kulturschicht, sterile Schicht, und ähnlichen ist überhaupt nichts anzufangen. Viele fundreiche Höhlen sind völlig ausgeräumt, so daß ihre Sedimente nicht mehr untersucht werden können. Die Zahl der noch unberührten Höhlen ist, wenigstens in Mitteleuropa, sicher kleiner als die der bereits ausgegrabenen. Daher kann nicht laut genug die Forderung erhoben werden, mit der Ausgrabung eine genaue Untersuchung aller, auch der fundleeren Schichten zu verbinden, und die zweite, noch viel dringendere, bei allen Ausgrabungen

umfangreiche Zeugen stehen zu lassen. Daß in Zukunft die bis jetzt angewendeten Untersuchungsmethoden eine außerordentliche Verfeinerung erfahren und völlig neuartige hinzukommen werden, kann kaum bezweifelt werden. Aber es muß fraglich sein, ob dann auch noch die Höhlenablagerungen vorhanden sein werden, an denen diese Methoden angewendet werden können. Mögen beim Ausgraben einer Höhle die Entdeckerfreuden noch so groß sein, sie müssen hinter der Verantwortung und den Pflichten zurückstehen, die uns von einer künftigen Forschung auferlegt sind.

VII. SCHRIFTTUM

- K. ABSOLON und R. CZIŽEK, *Die paläolithische Erforschung der Pekárna-Höhle in Mähren*. Acta musei moraviensis, 26.—27. Jg. 1932.
- J. ANDREE, *Das Paläolithikum der Höhlen des Hönnetals in Westfalen*. Mannus-Bibl. Nr. 42, 1928.
- E. BÄCHLER, *Das Drachenloch ob Vättis im Taminatale*. 1921.
- E. BÄCHLER, *Das Wildenmannisloch am Selun*. 1933.
- E. BÄCHLER, *Das Wildkirchli*. 1936.
- A. BOHMERS, *Die Ausgrabungen in den Höhlen von Mauern*. Forsch. u. Fortschr. 15. Jg., Nr. 14. 1939.
- S. BRODAR, *Das Paläolithikum in Jugoslawien*. Quartär I. 1938.
- S. BRODAR, *O Stratigrafiji Potočke zijalke*. Glasnik muzejskega društva za Slovenijo. 20, 1939.
- W. DEECKE, *Zur Entstehung der Deckschichten über ur- und frühgeschichtlichen Fundstätten Südwestdeutschlands*. Schumacher-Festschrift, Mainz 1930.
- H. HECK, *Das Rheinische Paläolithikum*. Die Eiszeit II. 1925.
- F.-E. KOPY, *Une nouvelle station préhistorique (paléolithique, néolithique, âge du bronze) : les cavernes de St. Brais (Jura bernois)*. Verh. d. Naturf. Bes. in Basel, 59. Bd., 1938.
- R. LAIS, *Ein Werkplatz des Azilio-Tardenoisien am Isteiner Klotz*. Bad. Fundber., Bd. 2, H. 3, 1929.
- R. LAIS, *Bericht über zwei Ausgrabungen im Gebiet des Isteiner Klotzes*. Bad. Fundber., Bd. 2, H. 7, 1931.
- R. LAIS, *Die postglazialen Sedimente einer Höhle am Isteiner Klotz in Baden*. Fortschr. d. Geologie u. Paläontologie, Bd. 11, H. 36 (Deecke-Festschrift) 1932.
- E. MELIN u. S. ODÉN, *Kolorimetrische Untersuchungen über Humus und Humifizierung*. Sveriges geol. undersökning. Årsbok 10 (1916), Nr. 4. 1917.
- J. NÜESCH, *Das Schweizerbild*, II. Aufl. 1902.
- E. PETERS, *Die altsteinzeitliche Kulturstätte Petersfels*. 1930.
- C. RADEMACHER, *Der Kartstein bei Eiserfey in der Eifel*. P. Z., Bd. 3, 1911.
- G. RIEK, *Die Eiszeitjägerstation am Vogelherd im Lonetal*. 1934.
- F. SARASIN, *Die steinzeitlichen Stationen des Birstales zwischen Basel und Delsberg*. Neue Denkschr. d. Schweiz. Naturf. Ges. Bd. 54, Abh. 2, 1918.
- F. SARASIN und H. G. STEHLIN, *Die Magdalénien-Station bei Ettingen (Baselland)*. Denkschr. d. Schweiz. Naturf. Ges. Bd. 59, Abh. 1, 1924.
- W. SOERGEL, *Löße, Eiszeiten und paläolithische Kulturen*. 1919.
- W. SOERGEL, *Die Vereisungskurve*. 1937.
- K. UTESCHER, *Die Entstehung schlesischer Höhlenlehme nach ihrer chemischen Untersuchung*. In: L. F. ZOTZ, *Die Altsteinzeit in Niederschlesien*. 1939.
- F. WAHNSCHAFTE u. F. SCHUCHT, *Anleitung zur wissenschaftlichen Bodenuntersuchung*. 1924.