

Der obermiozäne Thermalsinterkalk von Böttingen („Böttinger Marmor“) auf der Schwäbischen Alb

Von Thomas AIGNER, Ilshofen*)

1. Einleitung

Böttingen liegt etwa 5 km östlich von Münsingen in Richtung Laichingen auf einem der für die mittlere Schwäbische Alb typischen Basaltuffmaare. Am nordöstlichen Ortsausgang von Böttingen (SW-Abhang des Sternberges) befindet sich ein aufgelassener Steinbruch, in dem der sog. „Böttinger Marmor“ gebrochen wurde.

Der „Böttinger Marmor“ ist im petrographischen Sinne kein echter Marmor, sondern ein Thermalsinterkalk (Travertin). Er wurde während der die miozäne vulkanische Tätigkeit auf der Alb beschließenden Hydrothermalphase von einer temperierten, kohlen säureführenden Quelle (Kohlensäuerling) abgesetzt. Schon seit 1763 war der „Böttinger Bandmarmor“ bekannt und ist z.B. beim Innenausbau des Stuttgarter Neuen Schlosses (Marmorsaal) verwendet worden. Um die Jahrhundertwende legten Böttinger Einwohner zur Gewinnung von Pflastersteinen kleinere Gruben an. Bis 1920 ruhte der Abbau. Dann hat eine Karlsruher Firma begonnen, das Bruchgebiet erneut zu erschließen. Einige Jahre später (1924) ging der Marmorbruch in den Besitz der Firma MANZ, Böttingen über, die ihn bis 1960 betrieb.

Der Böttinger Thermalsinterkalk ist nun sowohl in allgemein geologischer, als auch mineralogischer und paläontologischer Hinsicht ganz außergewöhnlich, wahrscheinlich sogar einmalig. Um so bedauerlicher ist es, daß der ehem. Marmorbruch durch Bewuchs und durch Müllablagerung immer mehr verwahrlost. Die Einmaligkeit des Böttinger Sinters rührt von der ungewöhnlichen Art seiner Entstehungsumstände, der mineralogisch interessanten sekundären Umwandlungsvorgänge und der ausgezeichnet erhaltenen Fossilien her, die uns heute einen Einblick in eine etwa 10 Millionen Jahre alte Lebensgemeinschaft geben. Auf all dies soll im folgenden eingegangen werden.

2. Geologischer Überblick

Abb. 1 gibt zunächst einen Überblick über das Böttinger Basaltuffmaar und die Lage des Thermalsintervorkommens. Das Maar ist noch deutlich als rundliche Einmündung im Weißen Jura e zu erkennen; nur im W wird es vom Böttental angezapft. Nach den Erkundungen von F. BERCKHEMER (1923) setzte sich der Thermalsinterkalk in einer 400-500 m langen und etwa 10 m breiten bogenförmigen Spalte ab (Die rezente Bildung eines Thermalsinters kann man heute u. a. beobachten an der Terme di Bulicame bei Viterbo in der italienischen Provinz Latium). Mangels Aufschlüssen läßt sich allerdings nicht sagen, ob sich der „Marmor“ noch weiter nach SW oder nach SO fortsetzt, was MAIER (1929/31) an Hand von Lesesteinfunden vermutet. Dies erscheint mir aber mehr als fragwürdig; von Böttinger Einwohnern war nämlich in Erfahrung zu bringen, daß früher neben Basaltuff auch Marmorstückchen von den Bauern auf die Felder gefahren wurden.

Die Lage der Thermalsinterspalte zum Böttinger Basaltuffmaar war bis jetzt noch nicht völlig geklärt. Während ein Teil der Autoren (QUENSTEDT 1872, ENGEL 1883, BRANCO 1894, DIETLEN 1899, SAUER 1912) betonen, der Sinter durchsetze den anstehenden Weißen Jura, habe also keine Berührung mit dem Basaltuff des Böttinger Vulkanochlots, konnte BERCKHEMER (1923) exakt feststellen, daß mindestens das SW-Ende des Thermalsintervorkommens zwischen Basaltuff liegt. ZEUNER (1931) und SCHWENKE

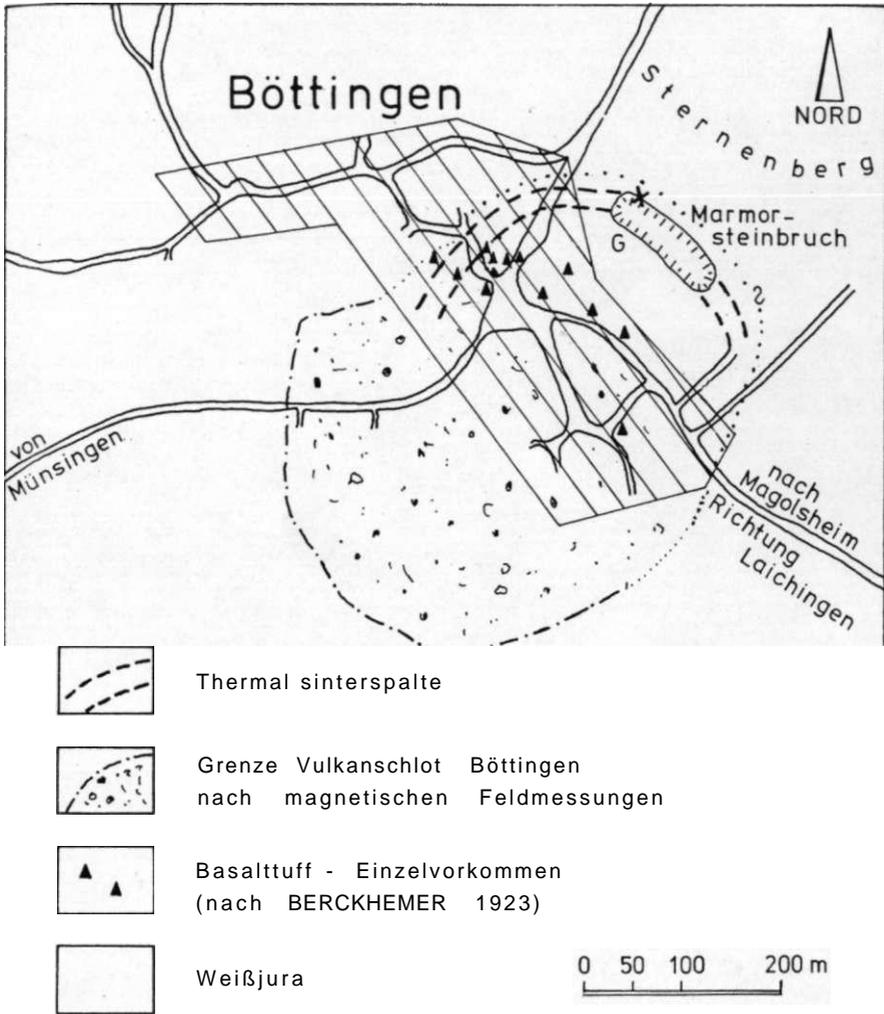


Abb. 1. Lageplan und geologische Übersichtsskizze. Das X bezeichnet die Lage des im Abschnitt 8 beschriebenen Tuffvorkommens. G = Grabungstelle.

(1936) sind der Auffassung, die Marmorspalte werde nordwärts durch Weißjura, südwärts durch den Tuff des Maeres begrenzt.

Bis jetzt lagen also noch keine Hinweise dafür vor, daß auch nördlich der Thermal-sinlerspalte Basalttuff auftritt. Demgegenüber konnte ich an der NW-Ecke des Böttinger Marmorbruchs (entspricht etwa dem nördlichen Ende des Thermalsintervorkommens) Tuff feststellen (vergl. Abschnitt 8). Somit lag die Vermutung nahe, daß die Thermal-sinlerspalte doch innerhalb des Tuffs des Böttinger Vulkanschlotes verläuft. Um diese Frage zu



Abb. 2. Im Böttinger Marmorbruch I Ansicht von Westen. Links ist der lotrecht gebänderte Spaltensinter erkennen.

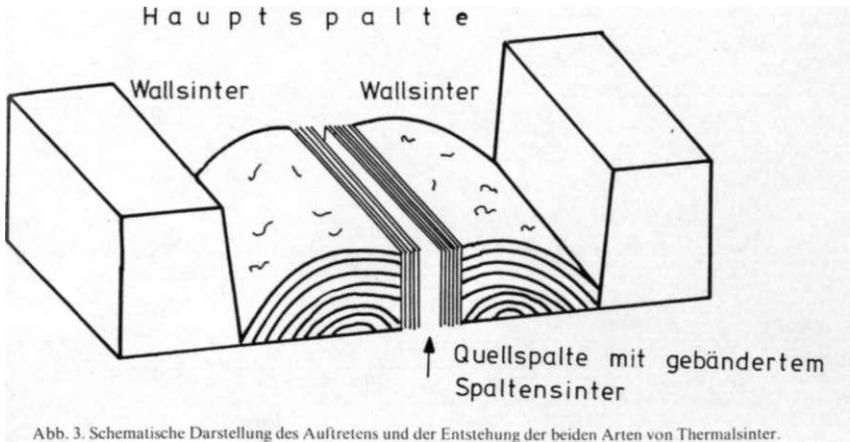
klären, wurde von mir an der südlichen Begrenzung des Thermalsinters eine Grabung durchgeführt, an der auch Herr Dr. MÄUSSNEST (Inst. f. Geophysik, Univ. Stuttgart) teilnahm. Dabei wurde einwandfrei eine Tuffbreccie festgestellt. Damit dürfte fast eindeutig erwiesen sein, daß die Thermalsinterspalte innerhalb des Tuffes des Böttinger Maars verläuft.

Man kann nun als ziemlich sicher annehmen, daß die Spalte, die einer warmen, kalk- und kohlenensäurehaltigen Quelle Gelegenheit zum Aufsteigen und Absatz eines Sinters gab, durch den ringförmigen Einbruch einer Basalttuffscholle am äußeren Rand des Böttinger Vulkanschlots entstanden ist. Diese Annahme stützt sich auf die Kenntnis „ringförmiger Scholleneinbrüche in der Peripherie der alten Kraterwände“ an Vulkanen des Hegaus (BERCKHEMER 1923). Damit wäre auch erklärt, daß es sich hier nicht um eine geradlinige Spalte, sondern um eine bogenförmige handelt. Die Möglichkeit, die Spalte sei tektonisch bedingt, ist demnach praktisch auszuschließen. Daß tatsächlich „Bewegungen nach dem Maare zu“ stattgefunden haben, ist durch Zerreißungserscheinungen im Thermalsinter belegt. BERCKHEMER (1923) spricht von einer $\frac{1}{2}$ m breiten postthermalen Zerreißungsspalte, die den Thermalsinter durchsetzt.

Die Annahme von MAIER (1929/31), die ersten Ausbruchsgewässer der Therme hätten sich in der „Jurabreccie“, welche die schwäbischen Vulkanschlote umkleiden soll, eine Mulde oder ein kleines Tal geschaffen, kann nicht aufrecht erhalten werden. Zum einen ist es fraglich, ob die schwäbischen Vulkanschlote überhaupt von Breccien umkleidet sind, und erst recht in einer Mächtigkeit, wie sie MAIER in seinem „Idealprofil der Therme von Böttingen“ einzeichnet. CLOQS (1941) beschreibt lediglich an der Schlotwand des Jusivulkans eine 1-2 m mächtige brecciierte und zerrüttelte Übergangszone. Zum andern wäre ein Sinterwall in einem Tal sicherlich sowieso durch die Abtragung zerstört worden. Man kann also ruhig dabei bleiben, daß sich der Sinter in einer Spalte absetzte, wo er - wenigstens im unteren Teil - vor der Denudation geschützt blieb.

3. Der Thermalsinterkalk - Allgemeines

Im östlichen Teil des Thermalsintervorkommens gibt uns der etwa 120 m lange und oben etwa 20 m breite ehemalige „Marmorbruch“ einen Einblick in die Ausbildungen und Lagerungsverhältnisse des Thermalsinterkalks (Abb. 2). Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich also nur auf diesen relativ kleinen Teil der Sinterspalte, der während der letzten Marmorabbauphase (die Brüche der früheren Abbauphasen sind heute verfüllt) erschlossen wurde und so untersucht werden konnte. An anderen Teilstücken der Quellspalte können völlig andere Verhältnisse geherrscht haben, die zur Bildung grundverschiedener Sinterabsätze geführt haben mögen.



Die Sinterablagerungen sind nun keineswegs einheitlich. Unter den vielen Formen und Farben fallen zwei Varietäten, sowohl in der Ausbildung, als auch in der Lagerung besonders auf. Obwohl gezielte Untersuchungen nur noch in beschränktem Maße möglich sind, ist es doch hauptsächlich die lotrecht gelagerte, vertikal rot-weiß gebänderte Art des Sinters, der sog. Bandmarmor, den man noch schön beobachten kann. Er füllt den mittleren Teil der Sinterablagerung, die eigentliche Quellspalte der Therme aus. Die Quellspalte, in der sich der „Bandmarmor“ an den senkrechten Wänden Schicht um Schicht absetzt, also nach innen wuchs, ist indessen nicht ganz geschlossen. Dieser offen gebliebene Spaltenraum wurde nachträglich mit feinem braunen Lehm ausgefüllt. Der „Bandmarmor“ wurde wegen seiner Bänderung bzw. Lagerung von SCHWENKEL (1936) „Streifen-“ oder „Spaltenmarmor“ und von MAIER (1925/29 u. 1929/31) „Spaltsinter“ genannt. Ich möchte ihn im folgenden als gebänderten Spaltsinter bezeichnen.

Beiderseits dem Absatz in der Quellspalte, dem gebänderten Spaltsinter, schließt sich eine andersartige Ausbildung des Böttinger Thermalsinterkalks an, die wegen ihrer löchernen, unregelmäßigen Beschaffenheit „Wilder Marmor“ genannt wird. Man bezeichnete ihn auch als „Mantelmarmor“ bzw. „Wallsinter“, da er den Spaltsinter gewissermaßen ummantelt bzw. deutlich einen Wall bildet. Dieser Wall- oder Mantelsinter ist in unmittelbarer Nachbarschaft des gebänderten Spaltsinters in fast waagrechten oder mehr nach unten geneigten Schichten gelagert, die mit dem Wegstreichen von der Quellspalte auf beiden Seiten zunehmend abfallen und deren Gefälle schließlich 50-60° und mehr erreicht.

Dieses Verhalten läßt sich vielleicht am einfachsten damit erklären, daß die Thermalwässer, indem sie die Quellspalte heraufsprudelten, darin den gleichmäßig gebänderten Spaltsinter absetzten und beim Überlaufen aus der Quellspalte den unregelmäßigen „Wilden“ Wall- oder Mantelsinter bildeten. Doch so einfach scheinen die Verhältnisse nicht zu liegen. Sollten sich die Sinterlagen nämlich nach der eben geschilderten Art aufgebaut haben, müßten die Spaltsinterlagen am Rande der Quellspalte umbiegen und in den „Wilden Marmor“ übergehen. Solche Umbiegestellen sind aber oft nicht vorhanden, meist liegt zwischen Wall- und Spaltsinter eine Diskordanz vor (Abb. 3). Weiteres zur Entstehung siehe unten.

Gegen Ende der Schüttung dieser Therme setzte sich in 12 m Tiefe in der Quellspalte eine zweite Generation von waagrecht Wilden Marmor ab, die von Lehmlagen unterbrochen ist.

4. Der gebänderte Spaltensinter

Der weiß-rote, senkrecht gebänderte, sich in fast senkrechten Platten ablösende sog. Bandmarmor scheint eine 2-4 m breite Spalte im Sinterwall des „Wilden Marmor“ auszufüllen. Die Bänder haben Abstände von mm - Größe bis zu über 1 cm. Die Bänderung kommt dadurch zustande, daß Lagen von rein weißem Calciumkarbonat mit solchen abwechseln, die mit einem roten, wasserarmen Eisenoxidhydrat, dem sog. Rotocker oder Eisenocker angereichert sind. Wie MAIER (1929/31, S. 60), durch Experimente bestätigt, festgestellt hat, gibt es dabei verschiedene Arten von Rotockeranreicherungen, die sich in der Genese und Bänderungsgestalt unterscheiden. Bei niedriger Temperatur schieb sich flockenförmiger Rotocker (im Wallsinter) ab, bei gesteigerter Temperatur kristallisierte derselbe bäumchen- und nadeiförmig (im Spaltensinter).

QUENSTEDT (1872), ENGEL (1883) und BRANCO (1894) heben hervor, daß der Böttinger Sinter nicht aus Aragonit, sondern aus Kalkspat besteht. Doch BERCKHEMER (1921 a) beschreibt mehrfach innerhalb des hpts. calcitischen „Bandmarmors“ blütenweise, dichtfaserige Aragonitpartien, die er nach den Verbandsverhältnissen als Reste einst größerer Aragonitmassen auffaßt, welche jetzt in Calcit umgewandelt sind. Diese Annahme wird belegt durch das Auftreten sog. Umhüllungspseudomorphosen in den roten Bändern des Spaltensinters, d.h. die nadeiförmige Anordnung des Rotockers, die ursprünglich von der Form der länglichen Aragonitkristallen herrührt, ist auch in den körnigen calcitischen Spaltensintern vorhanden. Ein großer Teil des Spaltensinters muß also ursprünglich aus Aragonit bestanden haben, da der Rotocker niemals nadeiförmig in einer körnigen Grundmasse kristallisieren konnte. Diese Feststellung weist auf den Absatz des Sinters aus einer Therme mit einer Temperatur von über 29°C hin, da für die thermale Ausscheidung des Aragonits eine solche Temperatur nötig ist.

Eine wesentliche Frage ist der Umwandlungsvorgang von Aragonit in Calcit. BERCKHEMER (1921 a, S. 25) denkt hier an bestimmte Lösungs- und Wiederabscheidungs Vorgänge. Er fand eine gewisse Abhängigkeit von Spalten, die für Sickerwässer Stellen leichteren Durchdringens darstellen, zur Grenze Calcit-Aragonit und schreibt: *„Aragonit ist nun in reinem und kohlen säurehaltigem Wasser löslicher als Calcit .. . so vermöchte die in Bezug auf Calcit gesättigte Gesteinsfeuchtigkeit doch noch etwas Aragonit aufzunehmen; dies müßte aber zu einer Übersättigung an Bikarbonat gegenüber dem Calcit führen, Calcit könnte ausfallen, neuer Aragonit würde in Lösung gehen usf.“*

Dagegen kommt MAIER (1925/29 u. 1929/31) im Zuge seiner petrographischen Untersuchungen des Thermalsinterkalks von Böttingen in vielen Punkten zu anderen Ergebnissen. Er stelle fest, daß mit der Tiefe der Quellspalte bzw. des Spaltensinters der Gehalt an Aragonit zunimmt: in der Tiefe entstanden reine Aragonitgesteine (höhere Temperatur!) im oberen Teil nur einzelne Aragonitkristalle. Der eigentliche Spaltensinter, dessen reinste Form der Aragonitsinter sei, sei teilweise durch hydrothermale Umwandlungen („thermale metasomatische Prozesse“) sekundär in Calcitsinter überführt worden. Dies ging auf folgende Art und Weise vor sich: *„Wenn nun eine mit Flußsäure beladene Aufwallung über ausgeschiedene Aragonitsäulchen hinwegflutete, so wurden diese mit einem äußerst zarten Fluoritüberzug versehen. Drängte eine weitere mit Salzsäure beladene Aufwallung nach, so wurden die Aragonitkriställchen im Innern durch die Salzsäure aufgelöst und nur von dünnen Fluorithäutchen gebildete Röhrrchen blieben zurück, die später von Calcit nebst Fluorit umschlossen wurden“* (MAIER 1929/31, S. 53). MAIER lehnt also BERCKHEMERs Annahme ab, der Umwandlungsvorgang Aragonit-Calcit hänge mit der Gesteinsfeuchtigkeit zusammen.

Das Vorkommen von Sinterbreccien im Spaltenraum wurde ebenfalls schon verschieden gedeutet. Während BERCKHEMER (1921 a) annimmt, es handle sich dabei um Spuren gewaltsamer Störung, indem sich die Therme ihre allmählich versinterten Quellwege gewaltsam wieder öffnete, ist MAIER (1929/31) der Auffassung, daß die Sinterbreccien durch eingeschwemmtes Material entstanden seien, da er darin außer Sinter noch Jurastückchen sowie Glimmer, Quarz, Orthoklas und Bohnerz fand.

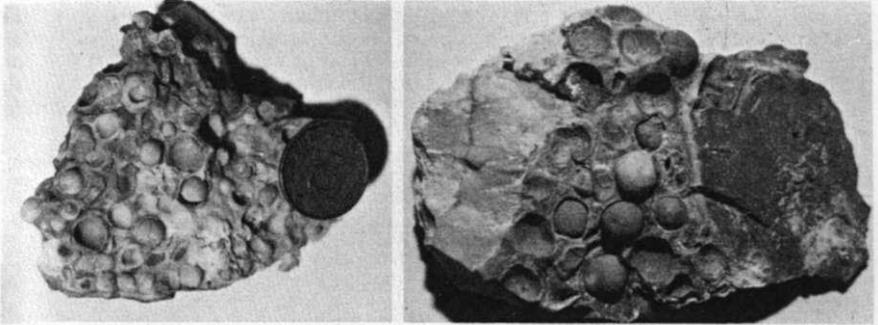


Abb. 4a (links): Erbsenstein aus dem Böttinger Thermalsinterkalk. – Abb. 4b (rechts): Eine Kluftausfüllung mit Erbsenstein zwischen dem Wallsinter (rechts) und dem gebänderten Spaltensinter (links); Größe des Stücks 5 × 8 cm.

Die chemische Analyse des gebänderten Spaltensinters ergab (BERCKHEMER 1921 a, S. 27):

	für dunkelroten	für hellroten Spaltensinter
H ₂ O	0.59 %	0.11 %
CO ₂	42.61 %	43.54 %
Fe ₂ O ₃	1.87 %	0.24 %
CaO	55.21 %	56.21 %
MnO	(geringe Spuren)	(Spuren)

WEINLAND & PLIENINGER (1924) fanden im Böttinger Sinter ferner As. Im Aragonit sei weder Sr noch Ba enthalten, was gut zu einer thermalen Entstehung desselben passe. Ebenfalls auf thermale Herkunft weist nach BERCKHEMER der wasserarme Rotocker hin.

Zugunsten der Thermaltheorie spricht weiter das Vorkommen von Erbsensteinen (Pisolithen), die jetzt ebenfalls aus Calcit bestehen. WARTH (1971) berichtet von einzelnen, in roten Thermalsinterkalk eingebetteten Pisoiden mit einem ϕ von 3-4 cm! Dies weist auf eine gewaltige Turbulenzintensität der Böttinger Quelle hin, wenn man bedenkt, daß das Wasser 4 cm große Kugeln in der Schwebe halten mußte. Erbsensteine entstehen bekanntlich, wenn in einer sprudelnden, temperierten Kalklösung (mit oder ohne Kieselsäure) irgendwelche Fremdkörper (z. B. Sandkörner) hochgewirbelt und in der Schwebe gehalten werden, so daß sich um jedes Sandkorn Schicht um Schicht des gefällten CaCO₃ absetzen kann. Als Kerne wurden bei den Böttinger Erbsensteinen Bestandteile des vulkanischen Tuffs (Magnetit), Bohnerz und Kalkstückchen festgestellt. Vielfach sind die Erbsen auch hohl: sie wurden wahrscheinlich um Gasbläschen herum gebildet.

Auch heute kann man im Böttinger Marmorbruch noch Erbsensteine finden: rötliche Kugeln von $\frac{1}{2}$ bis über 1 cm Durchmesser sind in rot-weißem Calcit eingebettet (Abb. 4). Auffallend dabei ist, daß die von mir beobachteten Vorkommen kleinere Klüfte genau an der Grenze zwischen dem gebänderten Spaltensinter und dem Wall- oder Mantelsinter ausfüllen. Vermutlich herrschten eben hier an der Grenze der Quellspalte besonders gute Bedingungen für die Bildung der Erbsensteine: an Unregelmäßigkeiten der Quellspaltenwand (Nischen) konnten strudelartige Bewegungen aufkommen, die die Entstehung der Erbsensteine begünstigten.

Fossilien treten im Spaltensinter praktisch nicht auf, was sich wohl mit dem Auftrieb innerhalb der Quellspalte erklären läßt.

5. Der „wilde“ Wall- oder Mantelsinter

Der sich beiderseits an die mit dem sog. Bandmarmor ausgefüllten Quellspalte anschließende Sinter ist z.T. groblückig, gelegentlich auch blättrig oder als Zellenkalk ausgebildet. Der unregelmäßig geschichtete, eben „wilde“ Wall- oder Mantelsinter von rötlicher Gesamtfarbe, z.T. rotbraun-rotgelb, oft rotviolett, besteht ganz aus (primärem) Calcit.

ZEUNER (1931) beschreibt drei (durch den Fossilinhalt) verschiedene Varietätendes „Wilden Marmors“. Die typische Ausbildung sei gelbrot bis rotviolett. Das deutlich kristalline Gestein sei trotz vieler Hohlräume (Fossilien) ziemlich zäh. Die zweite Art von rotvioletter Farbe zeichnet sich besonders durch großen Reichtum an Blattresten aus. Die dritte Ausbildung, welche die meisten Fossilien führt, ist von hellrosa Farbe und zucker körnig. Die Handstücke zeigen keine Schichtung.

Sinterwellen beweisen die Ablagerung des Wall- oder Mantelsinters durch rieselndes bzw. abfließendes Wasser. Die Abstände der Wellen betragen durchschnittlich $\frac{1}{2}$ cm. Von mir im Anstehenden beobachtete Sinterwellen waren etwa nach SE geneigt; das Wasser floß also offensichtlich u.a. in dieser Richtung vom Sinterwall ab.

Das Vorkommen von Gasblasen im „Wilden Marmor“ hat schon DIETLEN (1902) erwähnt. BERCKHEMER (1921 a, S. 31) gibt eine gute Beschreibung davon: „Aus mehr waagrecht liegenden Hohlräumen steigen die stellenweise bauchig anschwellenden und sich verzweigenden Schlotte nahezu senkrecht, öfters auch etwas schief nach oben, und bei manchen ist ein blindes Ende wahrzunehmen, derart, daß sich die Röhre unter allmählicher Verjüngung bis zum Verschwinden zuspitzt. Die Gasentwicklung scheint stellen- oder zeitweise eine beträchtliche gewesen zu sein, denn es kommen rund 100 Schlotte auf 25 qcm, manchmal 8 auf 1 qcm.“ Bei dem Gas wird es sich wahrscheinlich in der Hauptsache um Kohlensäure gehandelt haben.

Auch im Wall- oder Mantelsinter treten Breccien auf. Darin eingebettete Sinterstücken lassen erkennen, daß neben dem Aufbau des Sinters an anderen Stellen teilweise Zerstörungen desselben stattgefunden haben.

Besonders im oberen Teil des Wallsinters sind oft bis kubikmetergroße Weißjura- blöcke eingelagert, die wohl von oben in die Spalte hereinkollerten. Da sie praktisch „schwimmend“ in die Sintermasse eingelagert sind, müßten die darunterliegenden Sinterlagen bereits verfestigt gewesen sein, als die Fremdlinge hereinkamen. Im Wall- oder Mantelsinter sind ferner praktisch alle aus dem Thermalsinterkalk von Böttingen bekannt gewordenen Fossilien, sowie Tuffreste eingelagert.

6. Fossilien im Wall- oder Mantelsinter

Blattabdrücke (*Cinnamomum*) und Schnecken (*Helix sylvana*, heute *Cepaea sylvestrina*) waren schon länger aus dem „Wilden Marmor“ bekannt (ENGEL 1883), ehe DIETLEN 1899 den ersten Tausendfüßler fand, den er, nachdem die Funde sich häuften, 1902 *Julus suevicus* nannte. BERCKHEMER berichtet schon von mehreren Pflanzenresten (z.B. *Podogonium*), Schmetterlingsraupen, Rüsselkäfer, Asseln (1921 a, S. 32), sowie von einem Skorpion, dem Schädel eines Nagetiers und Knochenresten (1921 b, S. 67).

ZEUNER untersuchte dann 1931 67 Insekten, die zu 33 Arten gehören: an Büschen und Bäumen lebende Schmetterlingsraupen, Gottesanbeterin, Rüsselkäfer, Grille, Laub- und Feldheuschrecke, sowie Zuflieger wie Wasserkäfer, Maulwurfsgriffe, Fliege, Grabwespe, ein Bienenschwarm und Libellen. Die überwiegende Zahl der Fossilien stamme aus dem engsten Quellbereich; sie geben also einen Ausschnitt der Fauna wieder, die an der Quelle lebte. Da keine Wassertiere gefunden wurden, kann angenommen werden, daß das Wasser der Böttinger Quelle nicht bewohnbar war. Ferner erwähnte ZEUNER einen Fledermausfund, die Federn eines Raubvogels in Steinadlergröße, Schädel von Nagern, Tausendfüßler, Asseln, Skorpione, Spinnen und Schnecken. WIDMANN (1932) beschreibt in ca. 8 m Tiefe gefundene Knochen und Schädel von Hirschen.

HOFMANN (1933) bearbeitete die Böttinger Flora (Blattabdrücke und Früchte). Demnach dehnte sich oberhalb der Spalte eine üppige Mischwaldvegetation aus, die die Grundlage des ebenso reichen Insektenlebens bilden konnte: Eichen, Weiden, Ulmen, Zürgel, Platanen, Lorbeer, Mandelbaum, Buche, Ahorn. *Podogonium* sowie Moorpflanzen wie *Andromeda* und *Vaccinium*, die wohl innerhalb des feuchten Maares wuchsen.

In der Folgezeit wurden durch die Aufmerksamkeit des Vorarbeiters der Marmorgrube, SCHMAÜDER, noch viele Funde wie Fledermäuse, Vogeleier, Eidechsen, Schlangen, Frösche, ein umgestürzter Baum u.a. gemacht. Ein großer Teil dieses Materials liegt im

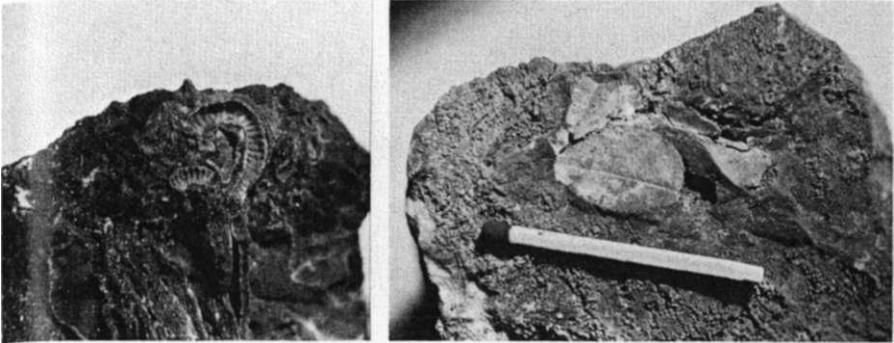


Abb. 5 (links): *Mus suevicus* DIETLEN. Tausendfüßler aus dem Wall- oder Mantelsinter („Wilder Marmor“) von Böttingen; Bildbreite 7,5 cm. - Abb. 6 (rechts): Abdruckeines Blattes im obermiozänen Thermalsinterkalk („Wilder Marmor“) von Böttingen.

Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Tübingen, wo es mir von Herrn Prof. WESTPHAL freundlicherweise gezeigt wurde.

Die meisten der erhaltenen Fossilien werden wohl zufällig in die Spalte gestürzt (evtl. durch Kohlensäure betäubt), die Blattreste durch den Wind auf den Sinterwall geweht worden sein, wo sie eingesintert wurden. Die Fossilien im Böttinger Thermalsinterkalk sind so auf eine ungewöhnliche Art erhalten geblieben. Sie sind nicht flachgedrückt, sondern es liegen nur die Abdrücke ihrer Körper als Hohlräume vor. Mit Abgüssen ist es möglich, auch feinste Einzelheiten des Körperbaues der Tiere zu untersuchen. Den besonderen Bildungsumständen ist es zu verdanken, daß ausnahmsweise auch Tiere erhalten blieben, die infolge ihrer leichten Vergänglichkeit kaum überliefert werden (z. B. Raupen). Alle Körperanhänge wie Fühler, Gliedmaßen und Flügel sind originalgetreu im Sinter abgeformt. Auch die Blattadern (Leitbündel) sind meist gut erhalten geblieben. Zuweilen finden sich sogar noch Reste der Knochen wie z.B. bei den Fledermäusen.

Die Art des Fossilisationsvorganges steht in Zusammenhang mit der Frage nach der Wassertemperatur und dem Kohlensäuregehalt der Böttinger Quelle. Es ist ja sehr wahrscheinlich, daß es ein Säuerling war, wenn man bedenkt, daß Kalk nur als Calciumhydrogencarbonat in Wasser löslich ist. Wird Kalksinter als Calciumcarbonat abgeschieden, so wird Kohlensäure frei, die sich sofort in CO_2 und H_2O aufspaltet: $(\text{Ca}[\text{HCO}_3]_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3; \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2)$. Da die Kalkausfällung nachweislich ziemlich schnell vor sich gegangen ist, müssen auch entsprechende Mengen von Kohlensäure freigegeben sein. Die Schnelligkeit der Kalksedimentation ist besonders gut an dem von ZEUNER (1931) beschriebenen kleinen versteinerten Bienenschwarm zu erkennen. Die Bienen, die im Schwärm in die Quellspalte gestürzt sein müssen, erstickten augenblicklich durch die Kohlensäure und wurden sehr rasch eingesintert. Es ist nämlich unwahrscheinlich, daß die Tiere lange frei nebeneinander gelegen haben, ohne daß sie die Strömung des Quellwassers auseinander gerissen hätte.

Die Temperatur der Therme kann keinesfalls hoch gewesen sein, etwa wie MAIER (1929/31, S. 67) annimmt um 100°C , sonst wären die leicht vergänglichen Tiere stärker zersetzt worden. Der Aragonit benötigt allerdings mindestens 29°C zu seiner thermalen Ausscheidung. Das Wasser war demnach höchstens temperiert, in jedem Fall zu dem Zeitpunkt, als es den Sinterwall herabrieselte.

ZEUNER machte Versuche über die Zersetzungsgeschwindigkeiten von Raupen bei Gegenwart von Kohlensäure und stellte dabei fest, daß sie die Zersetzung erheblich verlangsamt sowie betäubend und lähmend wirkt. Der eigentliche Vorgang der Fossilisierung gliedert sich in drei Schritte: 1) Inkrustation der Tiere oder Pflanzen mit Kalk, 2) Zerfall der organischen Substanz, 3) sekundäre Ausfüllung des Hohlraums (ZEUNER 1931, S. 344).

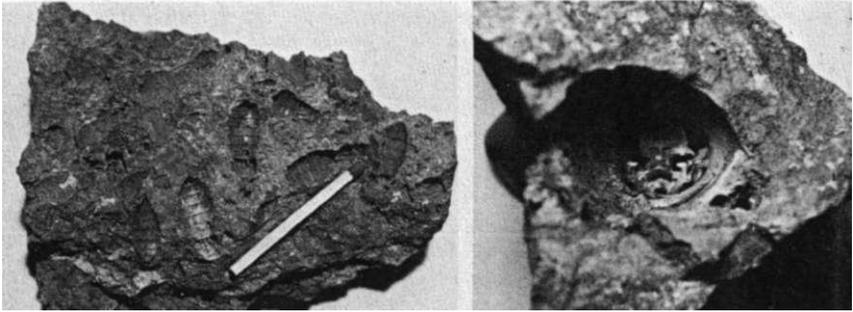


Abb. 7 (links): Inkrustate von Larven großwüchsiger Libellen, ein neues Fossil aus dem Böttinger Thermalsinterkalk (nach Bestimmung von Herrn Dr. WARTH. Staatl. Museum für Naturkunde. Stuttgart). - Abb. 8 (rechts): Ein weiterer Fledermausfund aus dem Böttinger Thermalsinterkalk. Der Abdruck der Körperform ist als Hohlraum erhalten, vorne sind noch Teile des Schädels mit Kiefer in Knochenhaltung sowie die Abdrücke der Ohren zu erkennen.

Auch heute können noch Fossilien in der Böttinger Marmorgrube gefunden werden. So fand ich mehrfach *Julussuevicus* (Abb. 5), Schneckenhöhlräume, Blattabdrücke (Abb. 6) sowie als neues Fossil aus dem Böttinger Thermalsinterkalk Larveninkrustate von Libellen (Abb. 7).

7. Bildung des Thermalsinters

QUENSTEDT (1858 und 1872) zog wohl als erster eine mögliche thermale Entstehung des „Böttinger Marmors“ in Betracht. MANDELSLOH (1848) sprach zuvor von „*platonisch veränderten Tertiärbildungen*“. SAUER (1912) war noch der Ansicht, daß der Böttinger Marmor durch Umwandlung aus Jurakalk hervorgegangen sei. BERCKHEMER, MAIER und SCHWENKEL entwickelten dann genauere Vorstellungen über mögliche Entstehungsgeschichten des Böttinger Thermalsinterkalks. Allerdings ist keine der Theorien in der Lage, sämtliche Sachverhalte eindeutig zu erklären.

BERCKHEMER (1923) zeigt zwei Möglichkeiten auf: entweder handelt es sich bei der mit „Bandmarmor“ ausgekleideten Quellspalte um eine in Fortsetzung der maarwärts gerichteten Bewegungen (die schon die Hauptspalte entstehen ließen) aufgerissene Spalte im „Wilden Marmor“, wo sich dann der „Bandmarmor“ absetzen konnte. Oder es bestand von Anfang an in der Hauptspalte eine offene Quellspalte, aus der die Therme überfloß und außen den Wall- oder Mantelsinter absetzte, während innen der gebänderte Spaltensinter abgelagert wurde (Abb. 9). Für die erste Möglichkeit würde die meist diskordante An-

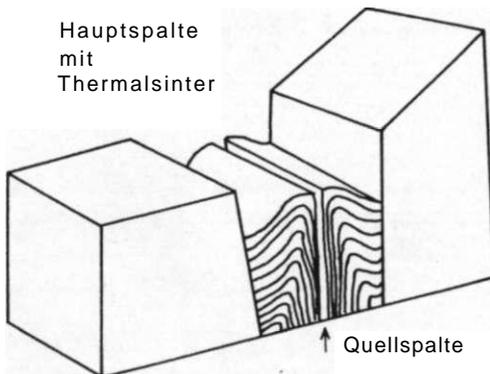


Abb. 9. Schema zur Entstehung des Thermalsinterkalks. Nach SCHWENKEL (1936), verändert. I

Abb. 10. Kontakt zwischen den beiden Thertnalsinterarten: der Wall- oder Mantelsinter (links! ist fast messerscharf vom gebundenen Spaltensinter (rechts) abgesetzt. Nur an der Umbiegestelle im Bild ist ein Übergang der Bandmarmorlagen in den „Wilden Marmor“ zu sehen. Größe des Bildausschnitts 0,7 x 0,8 m.



lagerung des Wallsinters an den Spaltensinter sprechen. Man hätte es so mit einer Störungsdiskordanz zu tun. Dann wäre es allerdings schwierig, sich die Form und Entstehung der Wallsinterablagerung ohne eine Quellspalte vorzustellen. Das von BERCKHEMER (1923) festgestellte Abnehmen der Spaltensinterlagen von unten nach oben sowie die angenäherte Halbierung des Wall- oder Mantelsinters durch die Quellspalte würde auf die andere Möglichkeit hinweisen, nämlich daß der gebänderte Spaltensinter die Fazies des in der Quellspalte hochsteigenden Wassers, der Wall- oder Mantelsinters die Fazies des außen abfließenden Wassers ist.

Diese Auffassung erfordert ein „Umbiegen“ der senkrechten Schichten des gebänderten Spaltensinters in die waagrecht geneigten des Wall- oder Mantelsinters, die beim Überlaufen der Therme aus der Quellspalte hätten gebildet werden müssen. Solche „Umbiegestellen“ sind aber nicht überall festgestellt worden; auch ich konnte sie nur an einer Stelle beobachten (Abb. 10). ZEUNER (1931) erklärt dieses teilweise Fehlen der Umbiegestellen durch sekundäre Vorgänge, wie z. B. Lösungserscheinungen. Dagegen ist MAIER (1929/31) der Auffassung, daß sich die Quelle bzw. der Quellort entlang einer nahezu geraden Linie verschob, als der Sinterwall so hoch geworden war, daß das Wasser nicht mehr ausgeschleudert werden konnte und dabei die Umbiegestellen zerstörte. *„In dem Maße, als die Sinterwälle emporstiegen, erfolgten im Innern der Spalte Erosionen und Corrosionen durch die Thermalgewässer und es verschwanden hier und dort die Übergußstruktur“* [= Umbiegestellen] (MAIER 1929/31, S. 64).

SCHWENKEL (1936) glaubt im Gegensatz zu BERCKHEMER und ZEUNER nicht, daß der ganze Sinterkomplex in der Tiefe einer Hauptspalte abgesetzt wurde. Er nimmt vielmehr an, die Therme seit entlang den Wänden der Hauptspalte aufgestiegen, hätte dabei den gebänderten Spaltensinter abgeschieden, und auf der Oberfläche entlang der Spalte den Wall- oder Mantelsinter gebildet (Abb. 11). Die „Bewegungen nach dem Maare zu“ (BERCKHEMER 1923) erweiterten die Spalte und ließen den bereits gebildeten „Wilden Marmor“ zusammen mit Nebengesteinsbrocken nach und nach in die Spalte sinken. Erst dann, so SCHWENKEL, riß in Fortsetzung der Bewegungen nach dem Maarinnern eine zweite Quellspalte auf, in der sich nun ein jüngerer Bandmarmor absetzte. In Zeiten größerer Schüttungsintensität trat von der Quellspalte selbst noch Thermalwasser aus und es konnte von der Spalte her weiterer „Wilder Marmor“ gebildet werden; dabei entstanden die wenigen Umbiegestellen. Doch es sind keine Anzeichen von zwei Spaltensinter-Generationen vorhanden.

Zur Herkunft des Wassers der Böttinger Quelle vermutet SCHWENKEL (1936), daß sich das aus den Klüften des Weißen Jura herausgetriebene Karstwasser

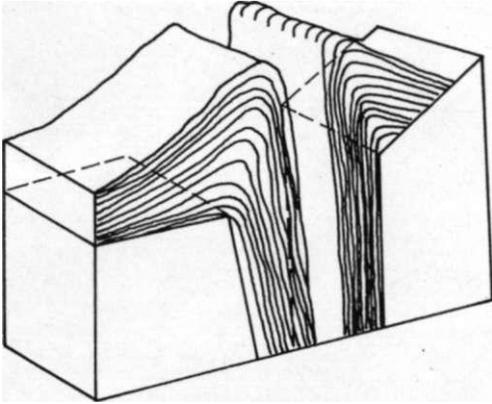


Abb. II. Eine andere Bildungsmöglichkeit der bei den Thermalsinterarten. Nach SCHWENK EL (1936).

mit heißem Wasser und Kohlensäuregas aus größerer Tiefe vermischte. Der gelöste Kalk stammt vom benachbarten Jurakalk, der Eisengehalt aus dem Basaltuff. Dagegen ist MAIER (1929/31) der Ansicht, daß der „in der Tiefe vermutlich in größerer Masse vorhandene Basalt“ Anlaß zum Aufsteigen von heißen Gasen, Kohlensäure, Salzsäure, Flußsäure und Wasserdämpfen gab, die mit vadosem Grundwasser Thermen bildeten.

Auf Grund von gelben Kalklehmzwischenlagen im Sinter kommt MAIER zum Schluß, die Böttinger Quelle sei ein Geysir gewesen, da der Kalklehm etwas erhärten mußte, ehe sich eine neue Sinterlage absetzte, daß also zwischen den Quellausbrüchen Pausen lagen. Er errechnet auf das Jahr etwa 150 Eruptionen. Die Annahme eines Geysirs wird von SCHWENK EL (1936) abgelehnt.

Dennoch sollte man geysirartige Ausbrüche der Quelle doch wenigstens in Betracht ziehen. Ein Geysir könnte vielleicht die scheinbar einander widersprechenden Tatsachen erklären, welche noch von keiner der vorher angeführten Theorien befriedigend gedeutet werden konnten: beim Aufsteigen des Wassers in der Spalte wurde der gebänderte Spaltensinter abgesetzt, beim Herabrieseln des hochgeschleuderten Wassers könnte sich der Sinterwall aus „Wildem Marmor“ gebildet haben. Im Laufe der Schüttungszeit der Quelle „wuchsen“ die beiden Sinterarten zu einem Komplex zusammen, ohne daß jede Lage des gebänderten Spaltensinters „umbiegt“ und in den Wall- oder Mantelsinter übergeht (vgl. Abb. 3). Die gelegentlich auftretenden Umbiegestellen wären dann so zu erklären, daß der Druck in der Tiefe zeitweise nicht ausreichte, um das Wasser geysirartig auszuschleudern und daß die Therme dann eben an der Oberkante der Quellspalte austrat und über den Wall aus Wildem Marmor abließ. In diesem Fall müßte man dann allerdings insgesamt eine Geysir-Spalte annehmen. Man wird diese Frage - Geysir oder nicht - wohl nie mit letzter Sicherheit beantworten können.

8. Vulkanischer Tuff und Thermalsinter

Schon 1842 erwähnt MANDELSLOH im Zusammenhang mit dem „Böttinger Marmor“ Basaltuff. Er berichtet, daß der Sinter allmählich in ein „rothes, sehr glimmerreiches, auch einzelne Bohnerzkörner einschliessendes Basalt oder plulonisches Conglomerat“ übergehe. BERCKHEMER (1921 a, S. 28) charakterisiert treffend den eigentümlichen, vom gewöhnlichen grau-schwarzen Basaltuff verschiedenen roten vulkanischen Tuff, der seine Farbe fein beigemischtem rotem Bohnerzlehm verdankt, „zuweilen in solcher Menge, daß man eher von Bohnerzlehm mit vulkanischen Gemengteilen sprechen möchte.“ Dieser sog. Roterde-Basaltuff enthält Glimmer, grüne serpentinartige Stückchen, Hornblende, Magnetit, Calcit, viele Weißjuratrümmer, Stubensandstein und roten Keupermergel. Der Tuff sei stellenweise von Sinterschnüren durchtrümmert.

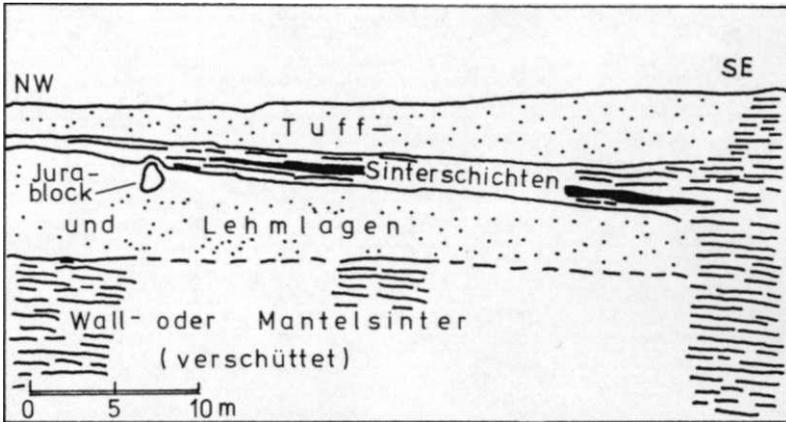


Abb. 12. Schematisches Profil des Tuffaufschlusses an der N-Wand (NW-Ecke) der Böttinger Marmorbruchs. Ein Großteil davon ist verschüttet bzw. überwachsen.

Bei den derzeitigen Aufschlußverhältnissen in Böttingen fiel mir in der NW-Ecke der Marmorgrube bei 3541000/5364010 (entspricht etwa dem nördlichen Ende des Thermal-sinters) ein merkwürdig ausgebildetes Tuffvorkommen auf, das anscheinend bisher noch nicht beschrieben wurde (Abb. 12).

Daß es sich dabei tatsächlich um vulkanischen Tuff handelt, wurde durch Dünnschliffuntersuchungen des dort auftretenden Gesteins bestätigt. Die Dünnschliffuntersuchung wurde freundlicherweise von Herrn Prof. WALENTA (Institut für Mineralogie und Kristallchemie der Universität Stuttgart) durchgeführt, wofür ich auch an dieser Stelle danken möchte. Dabei ergab sich folgendes: Die stark calcitisierte Tuffbreccie enthält neben Fragmenten von Sedimentgesteinen (Kalksteine dabei hohen Anteil) mehr oder weniger zersetzte, stark kalkspatisierte vulkanische Lapilli (darin Magnetit und Einsprengung von Biotit), säulige Kriställchen von Apatit, sowie Einzelkörner von Quarz, Calcit und Biotit. Ein von Brauneisen durchsetzter Kalkspat ist die Hauptkomponente des Gesteins, von dem die anderen Bestandteile verdrängt werden. - Ein Tuff von - makroskopisch beurteilt - der gleichen Art wurde auch bei der in Abschnitt 2 beschriebenen Grabung festgestellt (vgl. Abb. 1).

Tab. 1. Profil des Tuffvorkommens an der nördlichen Wand des Böttinger Marmorbruchs, aufgenommen etwa in der Mitte des Aufschlusses.

(1.)	0,4 m	Verwitterungsboden
(2.)	0,4 m	Hangschutt (Weißjurabrocken) im Tuff, vermischt mit Verwitterungsboden
(3.)	2,6 m	Wechsel von braunem, z. T. rötlich-braunem Bohnerzlehm, lagenweise mit Tuff-Toemischungen verschiedener Körnung und z. T. verbackener fein- und gröberkörniger, vorwiegend heller Tuffbreccie mit viel Glimmer (Biotit)
(4.)	0,46 m	dünne, gelblich-weiße, meist poröse Sinterschichten mit wenig roten Bändern, unterbrochen von dünnen Schichten gelblich-braunen Bohnerzlehms und feinkörnigem Tuff
(5.)	0,2 m	Sinterbank, oben weißlicher Sinter mit Dendriten, in der Mitte porös-blättrig und rostbraun, unten rote Schnüre im Sinter
(6.)	0,23 m	dünne gelblich-weiße Sinterschichten, z. T. porös z. T. gebändert, dazwischen schmale Lagen gelbbraunen Lehms
(7.)	ca. 6 m	wie (3.) (z. T. verschüttet bzw. überwachsen)
(8.)		„Wilder Marmor“

Der Tuff ist insgesamt von auffallend heller Farbe mit rötlicher Tönung, verursacht durch Bohnerzlehm, und zeigt z.T. Anzeichen von-Sortierung. Das Vorhandensein von relativ viel Bohnerzlehm bzw. Brauneisen könnte daraufhinweisen, daß die Vulkaneruption im Bereich eines Bohnerzlagers stattfand. Es scheinen zwei Tuffgenerationen, durch Sinterlagen getrennt, zur Ablagerung gekommen zu sein (Abb. 12; Tab. 1). Vielleicht ist der Böttinger Vulkanschlot zur Zeit der Bildung des Thermalsinterkalks nochmals ausgebrochen und hat die Tuffschichten abgelagert. Die andere Möglichkeit ist, daß der Tuff vom „Aschenwall“ rings des Kraterrands aus in die Thermalsinterspalte geschwemmt wurde (Sortierung!).

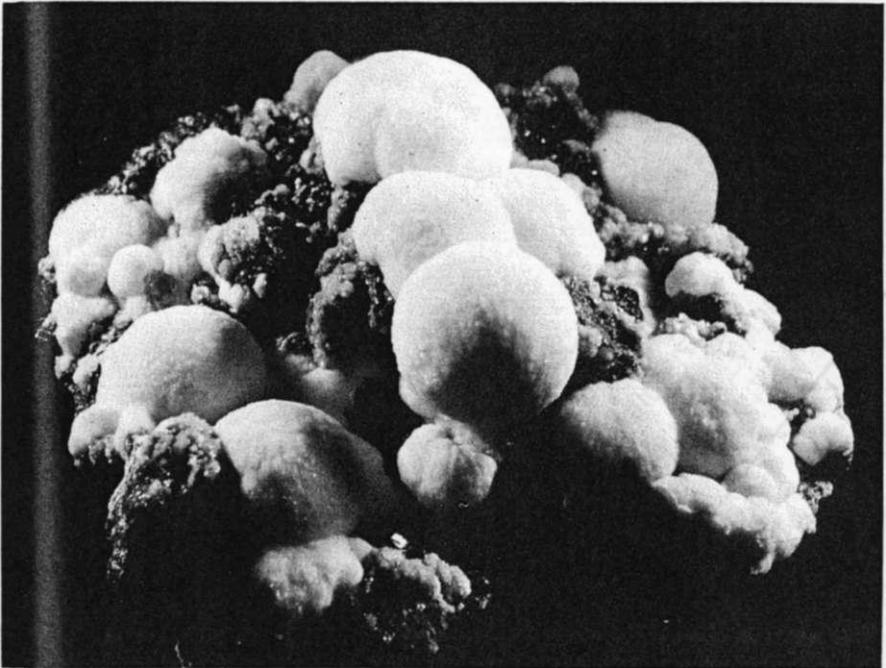
9. Schlüsse auf Alter, Umwelt und Klima

Schneckenfunde (*Cepaea sylvestrina sylvestrina* SCHLOTH., *Trichia kleini kleini* KLEIN, *Abida antiqua nördlingensis* KLEIN) sowohl im Böttinger Basalttuff, als auch im Wall- oder Mantelsinter beweisen die Entstehung des Böttinger Thermalsinters im Obermiozän (Sarmat). Der Schwäbische Vulkanismus fällt in die gleiche Zeit. bzw. kurz vorher. Damit liefert der Sinter einen erneuten Hinweis auf die zeitliche Einordnung der vulkanischen Tätigkeit auf der mittleren Schwäbischen Alb.

Das Maar wird zur Zeit seiner Bildung nur wenig über dem Meeresspiegel gelegen haben. Dies hatte auch Einfluß auf das Klima in Böttingen: es herrschte ein subtropisch-tropisch warmes, relativ feuchtes, also ozeanisches Klima mit milden Wintern (ZEUNER 1931), was auch durch Fossilfunde belegt ist. Man wird eine mittlere Jahrestemperatur von etwa 20°C annehmen können. Es dürfen allerdings aus den Arten des Obermiozäns keine zu weitgehenden Schlüsse auf das Klima gezogen werden, da viele Arten anpassungsfähig waren. Die obermiozäne Lebensgemeinschaft von Böttingen, auf die schon im Abschnitt „Fossilien“ kurz eingegangen wurde, umfaßte einerseits Gattungen und Arten, die heute nördliche Gebiete bewohnen, andererseits solche, die heute im Mittelmeerraum und in den Tropen auftreten. Es haben also Klimaverschiebungen sowie Verschiebungen der Lebensräume seit dem Obermiozän stattgefunden. ZEUNER hat ferner festgestellt, daß die Insekten seit dem Tertiär ohne wesentliche Fortschritte in ihrer Entwicklung blieben, ganz im Gegensatz zu den Säugetieren. -

Es bleibt abzuwarten, ob die geologischen, mineralogischen und paläobiologischen Fragen, die sich an den Böttinger Thermalsinterkalk knüpfen, je restlos geklärt werden können. Wegen der Einmaligkeit des Thermalsinters wäre es jedenfalls wünschenswert, den ehemaligen Marmorbruch unter Naturschutz zu stellen.

An dieser Stelle möchte ich noch Herrn Dr. MÄUSSNEST vom Inst. für Geophysik d. Univ. Stuttgart für die Überlassung einer Umgrenzungsskizze des Böttinger Schlotens aufgrund magnetischer Feldmessungen sowie für seine vielseitige Unterstützung herzlich danken.



Calcit, kugelförmige Aggregate auf Magnetkies und Zinkblende, 10 x 9 cm große Stufe von Herja (Kisbánya) in Rumänien. Sammlung Simone und Peter-Alfred HÜBER, Foto P.-A. HÜBER, A-2700 Wiener Neustadt, Hohewandg. 18. Österreich.