

Die Entstehung des Tremorgio-Kessels

Autor(en): **Bianconi, F.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen
= Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie**

Band (Jahr): **57 (1977)**

Heft 3

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-44444>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Entstehung des Tremorgio-Kessels

Von *F. Bianconi* (Bonn)*)

Abstract

The recent interpretation of the Lago Tremorgio (Ct. Ticino, Switzerland) as an impact crater (BÄCHTIGER, 1976 a, b, c) is critically reviewed and rejected. Geologic, tectonic, and geomorphologic data support the classical theory of a glacial origin, combined with minor karstic phenomena.

Riassunto

L'ipotesi recente di BÄCHTIGER (1976 a, b, c) secondo la quale il Lago Tremorgio (Ticino, Svizzera) sarebbe un cratere per impatto di una meteorite è discussa criticamente e viene respinta. Le caratteristiche geologiche, tettoniche e morfologiche dell'area in esame confermano la teoria classica di un'origine glaciale, combinata con fenomeni carsici minori.

A. EINLEITUNG

In neuester Zeit hat BÄCHTIGER (1976 a, b, c) für eine kleine Sensation in den seit einigen Jahren eher ruhigen Gewässern der Geologie des Lepontins gesorgt, indem er den Tremorgio-Kessel in der oberen Valle Leventina (Kt. Tessin) als das Produkt eines Meteoreinschlages deutete. Dieses Erkenntnis ist sehr überraschend, erstens weil schon zahlreiche Geologen – darunter der Verfasser dieses Artikels – sich mit der Entstehung des Lago Tremorgio befasst haben, ohne dabei auf die Möglichkeit eines Meteorkraters hinzuweisen; zweitens weil Einschlagkrater auf der Erde, im Gegensatz zum Mond, zu den grossen Seltenheiten zählen, bewegt sich doch ihre Zahl zwischen 60 (MILTON und RODDY, 1972) und 100 («... 50 nachgewiesenen oder wahrscheinlichen und beinahe nochmals so vielen vermuteten Kratern ...», REIFF, 1976, S. 29), je nach der Strenge des homologierenden Prüfers; und drittens weil bis heute solche geologische Erscheinungen in der Schweiz unbekannt waren.

Im vorliegenden Artikel wird versucht, die Deutung von BÄCHTIGER – und vor allem die angeführten Argumente – kritisch zu überprüfen. Die weiteren

*) Uranerzbergbau GmbH, Kölnstrasse 367, D-5300 Bonn 1.

genetischen Möglichkeiten werden ebenfalls diskutiert. Sie werden von BÄCHTIGER (1976c) in den vier einleitenden Sätzen zum vornherein ausgeschlossen; auf das zahlreiche Literaturmaterial geht er seltsamerweise nicht ein: dies soll hier nachgeholt werden.

B. DIE THEORIE DES METEORKRATERS

BÄCHTIGER (loc. cit.) stützt seine Theorie auf neun Kriterien. Diese werden im folgendem überprüft.

1. Die *rundliche Form*. Der Lago Tremorgio liegt auf 1830 m Höhe am Südhang der Valle Leventina und besitzt tatsächlich eine annähernd runde Form. Er sitzt im Zentrum eines ziemlich steilen Kessels, der im unteren Teil, bis auf etwa 2090 m, ebenfalls einen auffallend runden Querschnitt zeigt. Die trichterförmige Morphologie des Kessels soll nach LAVIZZARI (1850) die Etymologie erklären: damals hiess der See «Tramorcio», was aus «tramoggia», Trichter, abgeleitet werden könnte. BONNEY (1898) vergleicht die Form des Kessels treffend mit «the seat of an armchair». Die runde Form ist selbstverständlich kein eindeutiges Kriterium. So hat zum Beispiel der Arizona-Meteorkrater die Form eines Viereckes mit gerundeten Ecken, was durch die präexistierende geologische Struktur bedingt wird (REIFF, loc. cit.). Auf der anderen Seite sind mehrere Beispiele von rundlichen Seen bekannt, deren Entstehung mit der Quartär-Erosion erklärt werden kann (BIANCONI, 1969). Um im oberen Tessin zu bleiben, kann man die folgenden aufzählen: Lago Chiera, 2361 m; Lago Scuro, 2451 m; unbenannter See bei Alpe di Lago, 2012 m (alle Bl. 1252, Ambri-Piotta, der Landeskarte 1 : 25 000); Lago del Naret, 2238 m; vor der Stauung (Bl. 1251, Valle Bedretto); Lago di Mognola, 2003 m, und Laghetto Gardiscio, 2580 m (Bl. 1272, P. Campo Tencia).

Bei den heutigen morphologischen Verhältnissen weist der Tremorgio-Kessel einen höchsten Durchmesser von 2900 m und eine höchste Tiefe von 900 m und somit ein Tiefe : Durchmesser-Verhältnis von höchstens nur 1 : 3,2 auf. Eindeutig nachgewiesene Einschlagkrater zeigen viel grössere Verhältnisse, so 1 : 6,5 der Arizona-Krater, 1 : 16 der Steinheimer Becken und sogar 1 : 30 der Rieskrater (REIFF, loc. cit.). Falls der Tremorgio-Kessel ein Einschlagkrater wäre, dann müsste er einen viel grösseren Durchmesser haben.

2. Die Entstehung als *Gletscherkar* wird von BÄCHTIGER «...infolge der kreisrunden anstatt wannenartigen Form des Kessels mit riegelartigem Felsabschluss...» (loc. cit., S. 545) ausgeschlossen. In der Tat ist ein Felsriegel an der Nordost-Seite des Sees vorhanden (siehe Fig. 1 und Taf. 1). Der Riegel wurde durch die Wassererosion an mindestens zwei Stellen nachträglich eingetieft.

3. Das Vorhandensein von *markanten Brüchen*, als «radial und tangential»



Fig. 1. Der Lago Tremorgio von Westen gesehen. Bildmitte vorne: Piz Meda und, halb in dessen Schatten, der kleine Karstsee Leiarozza; Bildmitte hinten: die kleine schwarze Pyramide der Cima di Filo und die weissen Dolomitmarmore der Campolungo-Zone; zwischen den beiden Gipfeln ist die markante Rippe aus widerstandsfähigen Granatglimmerschiefern der Bündnerschiefer, die den Tremorgio-Kessel im Süden abgrenzen, gut sichtbar. (Schräge Luftaufnahme von V. Vicari.)

definiert, wird seltsamerweise als weiteres Kriterium von BÄCHTIGER angeführt. Im Tremorgio-Kessel können tatsächlich zahlreiche Brüche und einige Verwerfungen beobachtet werden. Die meisten gehören zwei Hauptsystemen an. Das erste System streicht etwa NW-SE bis NNW-SSE und verläuft parallel der oberen Valle Leventina, wo es überall anzutreffen ist. Dieses System hat zweifellos eine sehr wichtige Rolle in der Entwicklung der heutigen Morphologie gespielt: so wird der Riegel am NE-Ende des Kessels eindeutig von diesem System kontrolliert (Taf. 1). Ihm gehört auch die Verwerfung an, die zwischen N-Abhang des Poncione di Tremorgio und W-Ufer des Sees verläuft; sie wird von Linsen aus grobkörnigem Calcitmarmor begleitet, von denen später die Rede sein wird, und sie ist mitverantwortlich für die Bildung des kleinen Bergsturzes am W-Ufer des Sees.

Ein zweites System streicht etwa E-W bis SW-NE. Ihm gehört die wichtige Verwerfung an, die zwischen Madone und Poncione di Tremorgio, über Barbughera, und der Bucht am NE-Ende des Sees verläuft. Auf 2100 m Höhe konnte VON MOOS (1941) im Bachbett des Barbughera-Baches eine bis zu 1 m breite Ruschelzone mit weichen, gräulichen, im Wasser tonig aufquellbaren Massen, also ein klassisches Kataklastit, feststellen. Etwas spitzwinklig dazu verläuft die markante Kluft, entlang welcher der Lagasca-Bach sich im Felsriegel eingeschnitten hat.

Die Klüfte und Verwerfungen sind regional verbreitet und als absolut normale Folgen der spätalpinen Bewegungen zu bewerten, wie sie in den ganzen Alpen vorkommen. Dass sich zwei Systeme kreuzen und deshalb als «radial» oder «tangential» im Verhältnis zum Tremorgio-See erscheinen, liegt auf der Hand. Dies gibt aber keine Auskunft darüber, ob die Strukturen eine *Folge* oder aber eine mitspielende *Ursache* bei der Entstehung des Kessels waren! In diesem Zusammenhang muss noch erwähnt werden, dass beide Kluftsysteme, vor allem das erste, oft ziemlich mächtige und reine Quarzgänge führen, wiederum eine ganz normale Erscheinung im Lepontin. Die schönsten Beispiele stammen aus Pos Cota, E des Sees. Sie werden weiter unten diskutiert. Hier sei lediglich festgehalten, dass die Quarzföhrung der Klüfte ein Beweis dafür ist, dass diese *spätalpine tektonische Erscheinungen* darstellen und somit *vor* dem Kessel entstanden sind. Dass in diesem Gebiet eine besonders starke Anhäufung von tektonischen Störungszonen vorkommt, wie sie sonst nur aus der Wurzelzone bekannt ist, rührt davon her, dass in diesem Gebiet die frontalen Partien von fünf Deckenelementen (Leventina, Lucomagno, Simano, Lebendun und Adula) tektonisch angehäuft werden (BIANCONI, 1971).

4. Das seltsamste Kriterium ist der «ca. 1,2 km lange geradelinige Wall aus anstehendem Fels, der sich im S des Kraters von E nach W erstreckt, wirkt ... tektonisch-morphologisch eher ungewöhnlich und deutet ... auf einen nach W geneigten Einfallswinkel des Meteoriten hin» (BÄCHTIGER, 1976c, S. 545). Die Felsrippe, gut sichtbar auf Fig. 1, ist nichts anderes als eine Lage aus kalkfreien Granatglimmerschiefern der Bündnerschiefer (Taf. 1). Diese Schicht ist viel widerstandsfähiger als die darunterliegenden (stratigraphisch jüngeren) Kalkglimmerschiefer und als die darüberliegenden (stratigraphisch älteren) Dolomitmarmore der Trias vom Campolungo: dass sie morphologisch als Rippe oder Wall in Erscheinung tritt, ist lediglich die Folge der selektiven Erosion, sicher nicht des vom W her einfallenden Meteorites!

5., 6. und 7. BÄCHTIGER erwähnt *divergent-strahlige Streifungen und Brüche* mit Öffnungswinkeln bis zu 25° bis *ideal kegelförmigen Shatter Cone-artigen Gebilden* in den Glimmerschiefern und Quarzgängen, deren Achsen gegen das topographische Zentrum der kreisförmigen Struktur hinweisen. Der Verfasser dieses Artikels kann das Vorkommen solcher Strukturen weder bestätigen

noch verneinen. Der spitze Winkel lässt die Vermutung zu, dass es sich bei den Glimmerschiefern einfach um Kleinfältelung handelt, wie sie häufig im Gebiet vorkommt. Bei den angeblichen Strahlenkalcken («shatter cones») handelt es sich in einem Fall (BÄCHTIGER, 1976a, Fig. 3) um Faltung im dm-Bereich, im anderen Fall (loc. cit., Fig. 4) um die kegelförmige Spitze einer Quarzlinse, also um normale tektonische Erscheinungen, nicht aber um Strahlenkalke, wie es auch REIFF (schriftl. Mitt.), ein Spezialist auf dem Gebiet, bestätigt. Typische Strahlenkalke (für Abbildungen siehe REIFF, 1976, Fig. 8, und DIETZ, 1972, Fig. 1 und 2) besitzen einen apikalen Winkel um 90° , also viel grösser als die erwähnten 25° aus dem Tremorgio-Gebiet.

8. Als weiteres Kriterium erwähnt BÄCHTIGER, dass der Gangquarz «...speziell in den Gängen von Pos Cota ... in unzählige kleine bis feinste Bruchstücke zerfallen (ist)» und vergleicht die Korngrösse mit dem «rock flour» bekannter Meteorkrater. Er unterlässt es aber zu erwähnen, dass der Gangquarz von Pos Cota während des Zweiten Weltkrieges an verschiedenen Stellen in tiefen Gräben abgebaut wurde (Taf. 1). Der Abbau erfolgte zwangsläufig mit heftigen *Dynamitsprengungen*; es wundert deshalb nicht, dass der Quarz dabei zermalmt wurde. Der Quarz der Quarzgänge ist ohnehin sehr spröde, da er, wie bereits erwähnt, in spätalpinen Störungszonen vorkommt, welche sich nach der Quarzfällung noch bewegt haben.

9. Das letzte Kriterium von BÄCHTIGER umfasst eine Reihe von optischen und kristallographischen Erscheinungen in Quarz und Plagioklas. Beim *Quarz* sind es optisch anomal sich verhaltende Streifen bis Bänder mit anomalen Interferenzfarben und zum Teil unvollständige Auslöschung, eine feinste Lamellierung bis Streifenbildung im μ -Bereich (mit langen, scharf begrenzten, klaren Lamellen, vereinzelt mit treppenartigen Versetzungen), halo-artige, runde bis ellipsoidische Gebilde um hohle bis gefüllte Bläschen. Beim *Plagioklas* kommen die gleichen Erscheinungen, mit Ausnahme der anomalen Interferenzfarben, vor; dazu wird eine starke Zwillingsbildung beobachtet.

Dass der Quarz auf gerichtete Druckbeanspruchung höchst empfindlich reagiert, ist seit langem bekannt (siehe dazu TRÖGER, 1967, S. 157 ff.), und dass die erwähnten Erscheinungen aus dem Tremorgio als Produkte einer Druckbeanspruchung interpretiert werden müssen ist ebenfalls klar. Der wichtige Punkt ist, dass dabei die sehr hohen Drücke (über 100 kbar) der Stosswellenmetamorphose («shock metamorphism») nicht benötigt werden, sondern die viel tieferen Drücke der spätalpinen Kataklyse völlig genügen. ZAWADYNSKI (1952, S. 36 u. ff.) erwähnt die folgenden Deformationen im Quarz der Kataklyse der Valle Onsernone in der Wurzelzone: undulöse Auslöschung, deutliche Felderteilung, *Gleitung nach (0001)*, flammenartige Striemen, Bildung von *parallelen, glatt begrenzten Lamellen*, Gitterung aus zwei senkrecht oder schief stehenden Lamellensystemen, Trümmeraggregate bis zur Mörtelbildung. In den Plagioklasen fand er: Knicke, selten Trümmerbildung, Druckzwillingsbildung,

Verstellungen in Blöcken und Bruchstücken, Verbiegungen. In der Valle Onsernone findet man also alle von BÄCHTIGER erwähnten Deformationen.

Ein weiteres Beispiel: In zwei Betonproben, die Zuschlagstoffe aus dem Schweizer Mittelland enthalten, konnten sowohl Quarzkörner mit einem System aus parallelen, 10 bis 20 μ breiten Lamellen als auch solche mit senkrecht aufeinander stehenden bänderartigen Domänen beobachtet werden. Es handelt sich um Zufallsproben, welche beweisen, dass die beschriebenen Phänomene weit verbreitet sind (A. STAHEL, pers. Mitt.).

Die detaillierten Untersuchungen von CARTER und FRIEDMAN (1965) zeigen, dass feinste, geradlinig begrenzte Deformationslamellen im μ -Bereich auch im Quarz aus regional deformierten Gebieten auftreten; dabei sind subbasale Lamellen am häufigsten vertreten. Die Orientierung dieser Lamellen ist von P (statischem Druck), T und der Verformungsrate («strain rate») abhängig. Einzig das Auftreten von *basalen Lamellen* (Gleitfläche parallel (0001)) wäre ein Argument für eine Stosswellenmetamorphose. Aber auch diese basalen Lamellen sind kein eindeutiges Kriterium für Stosswellenmetamorphose, da die Experimente von AVÉ LALLEMANT und CARTER (1971) zeigen, dass basale Lamellen auch im Bereich der Kataklyse entstehen können. Dies bestätigen die Beobachtungen von ZAWADYNSKI (loc. cit.) aus dem Valle Onsernone.

Dass planare Strukturen eindeutige Stosswellen-Indikatoren sind, wird übrigens auch im Falle von Plagioklas neuerdings bezweifelt. In ihrer experimentellen Studie über Labradorite kommen GIBBONS und AHRENS (1977, S. 96) zum Schluss, dass «... in contrast to previous studies of shocked rocks ... planar features are not necessarily definitive shock indicators ...».

Über die halo-artigen Gebilde um Bläschen kann man nicht vieles aussagen, da es an chemischen Bestimmungen mangelt. Man kann lediglich bemerken, dass Gas- und Flüssigkeitseinschlüsse sowohl im gesteinsbildenden als im Gangquarz in der Tremorgio-Campolungo-Gegend zu finden sind (BIANCONI, 1971, S. 183 u. 198). Diejenigen in den Triasgesteinen der Campolungo-Zone werden zurzeit von MERCOLLI (in Vorbereitung) untersucht. Dieser Autor hat ebenfalls die Einschlüsse im Gangquarz von Pos Cota bestimmt und festgestellt, dass sie etwa 80 bis 90 Vol.-% CO_2 , also sehr wenig H_2O , enthalten, zum grössten Teil in flüssiger Form. Es handelt sich eindeutig um Einschlüsse, die während der alpinen Metamorphose entstanden sind (I. MERCOLLI, pers. Mitt.). Im Gegensatz dazu enthalten Einschlüsse, welche durch Meteorimpakt hervorgerufen werden, nur H_2O , und zwar in Gasform, wie in der Carswell-Struktur (PAGEL, 1975) und im Charlevoix-Meteorkrater (PAGEL und POTY, 1975) belegt wurde. Die vor dem Impakt gebildeten Einschlüsse haben dort als Folge der Stosswellenmetamorphose ihren Inhalt verloren. MERCOLLI hat festgestellt, dass die Einschlüsse von Pos Cota bei 350° bis 400° C dekrepitieren; da sie eindeutig alpines Alter haben, und demnach vor dem angeblichen Meteorimpakt entstanden sind, hätten sie während der späteren Stosswellen-

metamorphose, bei welcher Temperaturen von 5000 bis 30 000°C entstehen (REIFF, 1976), zerstört werden müssen.

Schliesslich sei noch der Verdacht geäussert, dass es sich bei den haloartigen Gebilden zum Teil vielleicht um solche handelt, wie sie bei der Dünnschliffpräparation öfters auftreten.

Man kann zusammenfassend feststellen, dass die von BÄCHTIGER angeführten Kriterien zum Teil *zweideutig* sind und zum Teil einfach von einer *falschen Interpretation* der beobachteten Erscheinungen abgeleitet worden sind. Wichtige, zum Teil eindeutige Kriterien für den Nachweis eines Meteorkraters, wie sie von DENCE (1972) und REIFF (1976) aufgeführt werden, konnten bis heute am Tremorgio nicht gefunden werden (aus REIFF, loc. cit., zitiert): meteoritisches Material; Strukturen am Rand des Kraters, hauptsächlich eine starke Störung des Gesteinsverbandes, bei jungen Kratern ein Wall von Auswurfsmassen sowie angehobene und zum Teil überkippte Gesteinspartien; Strukturen in der Mitte des Kraters, in Form einer Aufwölbung von brekziiertem Gestein, eines Zentralthügels (Central Uplift) oder einer zentralen Ringstruktur; im allgemeinen negative Schwereanomalie; magnetische Anomalie gegenüber der Umgebung; verminderte seismische Geschwindigkeiten gegenüber der Umgebung infolge der Gesteinszertrümmerung im Bereich des Kraters; Auftreten verschiedener Klein- und Grossbrekzien im gesamten Bereich des Kraters; Shatter Cones, diaplektisches Glas, Hochdruckmodifikationen des Siliziumdioxids, wie Coesit und Shistovit, sowie Aufschmelzungsgesteine, wie Suevit.

Die Schlussfolgerungen dürften klar sein: solange keine stichhaltigen und eindeutigen Beweise vorliegen, muss man die Theorie von BÄCHTIGER, nach welcher der Tremorgio-Kessel ein Einschlagkrater ist, verwerfen.

C. DIE KLASSISCHEN THEORIEN

Es gibt drei klassische Theorien für die Entstehung des Tremorgio-Kessels: eine reine *Lösungstheorie*, wonach der Kessel nur durch Lösung von Karbonaten entstanden ist; eine reine *Gletschertheorie*, wonach der Kessel einzig durch die Gletschererosion entstand, und eine dritte Theorie, welche eine Kombination der Gletschererosion und der Karstphänomene postuliert.

Karsterscheinungen sind im Tremorgio-Kessel und in seiner nächsten Umgebung an mehreren Stellen eindeutig dokumentiert. Das Seelein *Leiarozza* (2367 m), am W-Ende des Kessels, entwässert das ca. 0,4 km² grosse Einzugsgebiet unterirdisch; der Versickerungstrichter ist am NE-Ende des Sees sichtbar (Taf. 1, siehe auch BIANCONI, 1971, Fig. 35). Das Wasser tritt, mindestens teilweise, in den zahlreichen Quellen in den Bündnerschiefern zwischen Barbughera und dem W-Ufer des Lago Tremorgio wieder zutage. Die

Lösungsphänomene betreffen die grobkörnigen Calcitmarmore der Bündnerschiefer, möglicherweise auch die triadischen Dolomitmarmore am Rande der Sambuco-Gneise.

Der Lago Tremorgio entwässert teilweise ebenfalls unterirdisch. Trotz umfangreichen Abdichtungsarbeiten verliert der See bis zu 90 l/s (OTZ, 1969). Anhand von Tritium-Tracerversuchen konnte OTZ (loc. cit.) zeigen, dass diese Verluste zahlreiche Quellen am Fuss des Südhangs der Valle Leventina zwischen Ambri Sopra und Rodi-Mascengo sowie eine Quelle in der Val Piumogna und sogar eine oberhalb Fusio und eine weitere oberhalb Mogno in der Val Lavizzara speichern. Die wichtigsten Verluststellen (etwa 14) konnten vom gleichen Autor am NE-Ende des Lago Tremorgio nachgewiesen werden (siehe Taf. 1). Einer der Trichter hat einen Durchmesser von 4 m und weist Verluste von 34 l/s auf! Es ist auffallend wie die Verluststellen in Zusammenhang mit zwei wichtigen Störungszonen stehen (Taf. 1). Es wurde bereits erwähnt, dass diese zum Teil Linsen von Calcitmarmoren führen; 1938 fand man in einem Schacht, der für die Abdichtung eines der Verlusttrichter in der NE-Bucht abgeteuft wurde, ebenfalls eine Karbonatlinse (VON MOOS, 1941, S. 7): sie wurde als Dolomit bestimmt; in der Tat handelt es sich höchst wahrscheinlich um Calcitmarmor. Es liegt auf der Hand, die Verlusttrichter des Lago Tremorgio als echte Lösungstrichter zu interpretieren.

Als weitere Beispiele können aufgeführt werden: der *Lago di Ravina*, 7 km W vom Lago Tremorgio, der vollständig unterirdisch entwässert, der Abfluss des *Lago di Prato*, 5 km W vom Lago Tremorgio, welcher unterhalb des Sees in den Bündnerschiefern versickert (HASLER, 1949).

Karsterscheinungen haben sicher eine wichtige Rolle bei der Entstehung des Tremorgio-Kessels gespielt. Räumlich sind sie aber nicht genügend ausgedehnt, um sie als der einzige genetische Faktor betrachten zu können, wie GARWOOD (1906) und BONNEY (1898) behaupten.

Als wichtigster Erosionsfaktor muss der *Gletscherabtrag* angenommen werden, wie von mehreren Autoren (LAUTENSACH, 1914; VON MOOS, 1941; HASLER, 1949, und OTZ, 1969) richtig postuliert wird. Die folgenden Ausführungen stützen sich hauptsächlich auf der detaillierten Untersuchung von VON MOOS (loc. cit.). Im Gebiet des Tremorgio-Kessels flossen verschiedene Eismassen zusammen. Der Hauptzustrom kam aus dem Gebiet Pizzo Campolungo, Piz Prevat, Passo Campolungo, Piz Meda und floss über die Stufe Alpe Campolungo – W-Hang der Cima di Filo in Richtung Tremorgio. Dies ist in den Rundhöckern unmittelbar E der Hütte Alpe Campolungo in den widerstandsfähigen Granatglimmerschiefern der Bündnerschiefer dokumentiert. Kleinere Gletscherzufflüsse kamen aus dem E-Hang des Poncione di Tremorgio und aus der Mulde der Leiarozza (die Karmorphologie ist auf Fig. 1 gut sichtbar). Der Überfluss der Eismassen zum Tessingletscher erfolgte am N-Rand des Kessels zwischen Brusada und Pos Cota. An diesen zwei Lokalitäten sind zwei schwach

ausgebildete Terrassen auf Koten 1900 bis 2000 m vorhanden, die zum Teil mit Moränenmaterial bedeckt sind. Auf den Felsriegel an der NE-Seite des Sees wurde bereits hingewiesen; dort sind Rundhöcker noch sichtbar, obwohl ihre Form durch die rasche Verwitterung der Kalkglimmerschiefer etwas verwischt wurde. Beim Durchstich des Fassungsstollens am NE-Ende des Sees wurde eine 6 m mächtige Grundmoräne angetroffen (Orz, 1969). Im bereits erwähnten Abdichtungsschacht in der NE-Bucht wurde unter dem jüngeren Schutt ebenfalls eine mindestens 3 m mächtige, lehmige, mit Blöcken durchsetzte Grundmoräne gefunden (VON MOOS, 1941).

Zusammenfassend kann man die Entstehung des Tremorgio-Kessels wie folgt erklären: Die primäre Anlage wurde durch die Karstbildungen in den Calcitmarmoren bestimmt. Die nachträgliche glaziale Abtragung erreichte logischerweise ihr Maximum in der ausgeprägten Schwächezone, die durch die Kombination von lithologischen (wenig widerstandsfähige Kalkglimmerschiefer) und tektonischen Faktoren (Durchkreuzung von Kluft- und Verwerfungssystemen) bedingt ist. Die zwei Faktoren widerspiegeln sich sehr klar in der heutigen Morphologie des ganzen Kessels (Taf. 1): Erhebungen in den widerstandsfähigen Gesteinen (Gneise der Sambuco-Masse am W-Rand, Granatglimmerschiefer der Bündnerschiefer am S-Rand), Eintiefungen in den weicheren Kalkglimmerschiefern und längs der Störungszonen.

Abschliessend kann man den Lago Tremorgio als eines der schönsten Beispiele der sehr zahlreichen *Karseen* der Alpen bezeichnen.

Man könnte natürlich die Diskussion *ad absurdum* weiterführen und behaupten, dass der Meteorkrater durch die jüngere Quartär-Erosion verwischt wurde. Da aber dadurch alle beweisenden Erscheinungen aberodiert wären, würde es sich um eine byzantinische Diskussion handeln.

Der Verfasser dankt den Herren I. Mercolli, Dr. A. Stahel und A. Zingg vom Institut für Kristallographie und Petrographie der ETH Zürich für die wertvollen ergänzenden Mitteilungen und Diskussionen.

Literatur

- AVÉ LALLEMANT, H. G. and N. L. CARTER (1971): Pressure Dependence of Quartz Deformation Lamellae Orientations. *Am. J. of Sc.* 270, 218–235.
- BÄCHTIGER, K. (1976a): Lago di Tremorgio (Canton Ticino) – a Meteorite Impact Crater in the Swiss Alps? *Experientia* 32, 9, 1102–1104.
- (1976b): Il lago del Tremorgio, un cratere per impatto di una meteorite sulle Alpi Svizzere? *Il Nostro Paese* 113, 246–248.
- (1976c): Könnte der Kessel des Lago di Tremorgio (Gemeinde Prato, Kt. Tessin) ein Meteorkrater sein? *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.* 56, 3, 545–548.
- BIANCONI, F. (1969): Laghi alpini del Ticino. *Quaderni della Svizzera Italiana* 12, 28 S.

- (1971): Geologia e petrografia della regione del Campolungo. Beitr. Geol. Karte Schweiz, N.F., 142. Lfg., 238 S.
- BONNEY, T. G. (1898): Notes on some small Lake-Basins in the Lepontine Alps. Geol. Mag. 5, 15–21.
- CARTER, N. L. and M. FRIEDMAN (1965): Dynamic Analysis of deformed Quartz and Calcite from the Dry Creek Ridge Anticline, Montana. Am. J. of Sc. 263, 747–785.
- DENCE, M. R. (1972): The Nature and Significance of Terrestrial Impact Structures. 24th Int. Geol. Congress, Section 15, 77–89.
- DIETZ, R. S. (1972): Shatter Cones (Shock Fractures) in Astroblemes. 24th Int. Geol. Congress, Section 15, 112–118.
- GARWOOD, E. J. (1906): The Tarns of the Canton Ticino. Quart. J. Geol. Soc. 62, 165–193.
- GIBBONS, R. V. and T. J. AHRENS (1977): Effects of Shock Pressures on Calcic Plagioclases. Phys. Chem. Minerals 1, 95–107.
- HASLER, P. (1949): Geologie und Petrographie der Sambuco-Massari-Gebirgsgruppe zwischen der oberen Valle Leventina und Valle Maggia im nördlichen Tessin. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 29, 50–155.
- LAUTENSACH, H. (1914): Die kleinen Seebecken der Tessiner Alpen. Z. f. Gletscherkunde 9, 1–41.
- LAVIZZARI, L. (1850): Escursioni nel Cantone Ticino. 3 vol., Lugano.
- MERCOLLI, I. (in Vorbereitung): Le inclusioni fluide nelle vene di quarzo dei marmi dolomitici del Trias del Campolungo. Diss. ETH Zürich.
- MILTON, D. J. and D. J. RODDY (1972): Displacements within Impact Craters. 24th Int. Geol. Congress, Section 15, 119–124.
- VON MOOS, A. (1941): Geologisch-technische Untersuchungen über die Verluste des Lago di Tremorgio und dessen Dichtungsmöglichkeit. Unpubl. Bericht.
- OTZ, H. (1969): Geomorphologische, hydrologische und limnologische Untersuchungen im Tremorgio-Gebiet II. Unpubl. Diss. Univ. Bern.
- PAGEL, M. (1975): Cadre géologique des gisements d'uranium dans la structure Carswell (Saskatchewan-Canada). Thèse Université de Nancy.
- PAGEL, M. and B. POTY (1975): Fluid inclusions studies in rocks of the Charlevoix structure. Fortschr. Miner. 52, 479–489.
- REIFF, W. (1976): Einschlagkrater kosmischer Körper auf der Erde. In: Meteorite und Meteorkrater. Stuttgarter Beitr. z. Naturkunde, Serie C, Hft. 6, 47 S.
- TRÖGER, W. E. (1967): Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Teil 2 Textband. Herausgegeben von O. Braitsch. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 822 S.
- ZAWADYNSKI, L. (1952): Geologisch-petrographische Untersuchungen in der Valle Onsernone (Tessin) – Zur Petrographie der Kataklasite. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 32, 1, 1–110.

Manuskript eingegangen am 28. Oktober 1977.

