

Die Auswirkungen syngenetischer Tektonik

Objekttyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **56 (1963)**

Heft 2

PDF erstellt am: **17.05.2024**

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 Grösse des vertretenen Zeitabschnittes im Verhältnis zur geringen Mächtigkeit spricht hier wiederum für kondensierte Sedimentation. Dies bestätigt sich in den Limonit- und Manganoxyd-Krusten²²⁾, die nicht nur die Fossilien, manchmal recht dick, bis zu Knollenbildung, sondern auch grössere Flächen innerhalb des Gesteins überziehen. Dabei sind häufig Serpuliden abgebildet. Gelegentlich finden sich auch Flecken und Rinden von Glaukonit.

3. Die Mergelkalke des Domérien

Sie sind, wenn ungestört, lithologisch etwa den entsprechenden Bildungen des Breggia-Profiles vergleichbar (Schichten 2o in RENZ, 1920). Abweichend sind die vorherrschende intensiv rote Farbe und knollige Lagen, wodurch sie eine gewisse Ähnlichkeit zum Ammonitico rosso erlangen. Der bedeutendste Unterschied besteht in den massenhaft und regelmässig verteilten Crinoidentrümmern, darunter häufigen *Apiocrinus*-Wurzelstücken wie im Besazio-Kalk.

Es gibt nur zwei erwähnenswerte, gute Aufschlüsse in unserem Gebiet: in den Cave d'Arzo (H/11) und unmittelbar S Tremona, in einem kleinen Steinbruch am alten Strässchen nach Besazio. Einen Brachiopoden von letztgenannter Stelle bestimmte D. V. AGER (London) als «*Terebratula*» *helenae* RENZ.

Die Ammoniten, die besonders in der letztgenannten Fundstelle recht häufig vorkommen, haben wir nicht untersucht, da nach ihrer Bearbeitung durch SENN und der Breggia-Fauna durch RENZ (op. cit.) nichts wesentlich Neues zu erwarten war.

Der erwähnte seitliche Übergang zwischen mergeligem Domérien und Besazio-Kalk ist am besten, wenn auch nicht direkt, in den beiden kleinen Steinbrüchen NW des Kalkofens von Arzo zu beobachten: im Steinbruch nördlich vom Weg, der zum grossen Steinbruch führt, (H/11), sind gebankte Mergelkalke aufgeschlossen, die $\pm$ ungestört auf Broccatello mit grünen Crinoiden-Fragmenten lagern. Unmittelbar südlich vom Weg, im Streichen an die Mergelkalke anschliessend, steht brecciöser und pseudokonglomeratischer Besazio-Kalk mit limonitisierten Ammoniten an.

Entsprechende heteropische Übergänge, in faziell sehr ähnlichen Gesteinen, haben wir im Sinémurien des toskanischen Apennins beobachtet, und zwar in einem Steinbruch unterhalb des Dorfes Sassetta (Campigliese, vgl. GIANNINI, 1955).

DIE AUSWIRKUNGEN SYNGENETISCHER TEKTONIK

I. ALLGEMEINES

Beim Betrachten unserer Karte (Taf. I) fällt auf, dass der zentrale Teil, das «Plateau von Tremona», von ansehnlicher Quartärbedeckung (im wesentlichen Moräne) eingenommen wird. In einer breiten Zone zieht sie von den Cantine di Tremona nach Besazio, quer bis diagonal zu den Störungen. Westlich unmittelbar anschliessend und parallel durchschneidet ein weiteres Band mit Quartärfüllung

²²⁾ Sie enthalten, nach einer durch Dr. H. SCHWANDER im min.-petr. Institut Basel durchgeführten spektrographischen Analyse ausser den Hauptkomponenten Fe, Mn, als Nebenkomponten: Mg, Si, Ti; in Spuren: Be, B, Pb, Alkalien, Cu, Zr, Co, Ni, Sr, Cr.

unser Gebiet, allerdings von weit geringerer Bedeutung: das Gaggiolo-Tälchen. Dadurch werden wichtige Zusammenhänge zwischen den tektonischen Linien des Raumes Cave d'Arzo–Sermonte–Castello im N und Besazio–S. Agata im S maskiert und Korrelationen erschwert. Eine konsequente Gliederung in einzelne Schollen wird auch durch die Mehrphasigkeit der tektonischen Linien und ihre komplexen Wechselbeziehungen verunmöglicht.

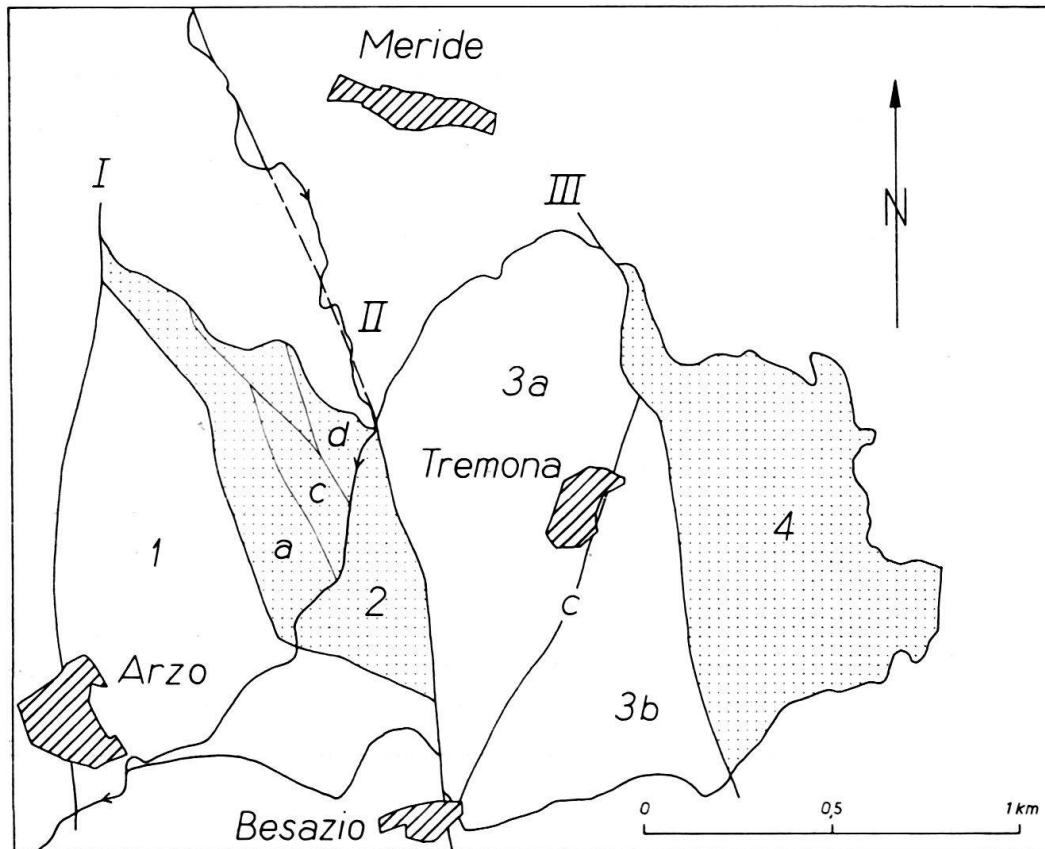


Fig. 25. Paläotektonische Gliederung des Gebietes zwischen Arzo, Besazio, Rancate und Meride, 1:25000. – I Verwerfung von Arzo, II Verwerfung Besazio–Gaggiolo, III Verwerfung Fatt–Castello. – 1. Scholle Besazio–St. Rocco–Costone. – 2. Zone der Steinbrüche von Arzo. a) Scholle des grossen Steinbruchs, c) Scholle zwischen Fornace und Sägewerk, d) Macchia vecchia-Zone Sägewerk–Gaggiolo–Brücke. – 3. Zone Cave di Besazio–Tremona–Sermonte. 3a) Nördliche Teilscholle, 3b) Südliche Teilscholle, c) Diagonale Verwerfung Besazio–Tremona. – 4. Zone Barozzo–Cantine di Tremona.

Als Rahmen für die weitere Besprechung erscheint eine grobe Gliederung in 4 Abschnitte zweckdienlich (Fig. 25):

1. Die Scholle von Besazio–S. Rocco–Costone, im wesentlichen aus ungestörtem, gleichmässig einfallendem Hauptdolomit bestehend. Macchia vecchia fehlt völlig.

2. Die Zone der Steinbrüche von Arzo, durch intensive tektonische Beanspruchung gekennzeichnet. Ungestörter Hauptdolomit tritt zurück, dafür spielt Macchia vecchia eine bedeutende Rolle.

3. Die Zone Cave di Besazio–Tremona–Sermonte, durch die wichtige, diagonal verlaufende Linie Besazio–Tremona in zwei Teilschollen zerlegt, die ihrerseits in einige NNW verlaufende Teilelemente zerfallen.

4. Die Zone Barozzo–Cantine di Tremona, wiederum durch intensive rhätische und liasische Tektonik beansprucht. Sie ist durch weitverbreitete HD/Rhät-Breccien ausgezeichnet.

II. EINZELBESCHREIBUNG

1. Die Scholle von Besazio–S. Rocco–Costone

Sie wird im W durch die bereits erwähnte Verwerfung begrenzt, die vom Costone (unmittelbar westlich P. 707) bis Arzo dem Bach folgt und dann ziemlich genau nach S weiterzieht. Diese Störung ist im Bach an verschiedenen Stellen gut sichtbar (besonders beim Reservoir, genau an der Vereinigung der beiden Tälchen bei P. 543). Sie zeichnet sich fast stets durch Breccien aus, die Hauptdolomit-Trümmer in gelber, dolomitischer, oft zerreiblicher Grundmasse führen. Wir stellen diese Bildungen ins Rhät und datieren damit die Störung. Nirgends sind liasische Anteile darin zu beobachten.

In der Costone-Fluh, westlich vom Weg, der dort Richtung Meride zu Tal führt, kann beobachtet werden, wie die Störung mit der assoziierten Rhät-Breccie den Hauptdolomit in seiner gesamten Mächtigkeit quert und in die Raiblerschichten eindringt. An einigen Stellen sind im Bereich der Verwerfung auch Lager von Terra rossa zu sehen. Der E-Flügel wurde um 15–20 m abgesenkt. Allerdings interferiert hier noch eine weitere wichtige Störung, die westliche Begrenzung der Zone der Cave d'Arzo, die in die rhätische Verwerfung von Arzo einmündet. Sie dürfte ebenfalls im Rhät als Verwerfung angelegt und im Lias durch Dehnung reaktiviert worden sein. Diese spätere Beanspruchung bezeugt die breite intrusive Broccatello-Spaltenfüllung, die unmittelbar westlich vom steilen Weglein Costone–Guana ansteht und nach unten auskeilt.

Die Rhät-Verwerfung von Arzo spielt als Faziesgrenze eine eminente Rolle, in dem sie, wie schon dargelegt wurde, den Bereich des Broccatello von dem der synchronen Kalkarenite trennt.

Die Scholle von S. Rocco zeigt ein einheitliches NW–SE-Streichen und ein Einfallen von 30–45° SW. Das Streichen steht etwa quer zur Richtung der alpinen Faltenachsen. Dass die Kippung dieser Scholle präliasisch erfolgte, erhellt auch aus der deutlich winkeldiskordanten Auflagerung des Broccatello und Besazio-Kalkes bei S. Antonino di Besazio.

Dass die Scholle längere Zeit als stabiler Horst bestand, demonstriert die äusserst reduzierte Sedimentation bis zum basalen Radiolarit im Raum zwischen Arzo, Besazio und Ligornetto. Bei P. 508, E Arzo, ist der Broccatello äusserst geringmächtig und stark kondensiert, wie schon dargelegt wurde. Bei S. Antonino di Besazio folgt auf geringmächtigen Broccatello stark kondensierter Besazio-Kalk und darüber (am E-Ende des Aufschlusses, in dichtem Buschwald) Ammonitico rosso (Toarcien, belegt mit zwei Exemplaren von *Hildoceras quadratum* PRINZ). Südlich Bar Sport (SE Arzo, 716930/081350), am Fussweg nach Ör, steht zunächst, unmittelbar hinter dem Haus, Hauptdolomit an. Dann folgt Moränenbedeckung und 10 m höher bereits Radiolarit. 75 m W Grenzstein Nr. 70 (NW Ligornetto, 716925/080650) ist der Kontakt wiederum nicht aufgeschlossen, doch

fehlen nur wenige Meter zwischen Hauptdolomit und Radiolarit. Zwischen dieser Stelle und der Strasse Ligornetto–Clivio verläuft ein Bruch genau in der Richtung und in der südlichen Fortsetzung der Verwerfung von Arzo. Zu beiden Seiten dieses Bruches verhält sich die Antiklinale von Clivio tektonisch uneinheitlich, indem starke Abweichungen im Streichen vorkommen. Die Verwerfung von Arzo dürfte demnach hier die alpine Tektonik als präexistente Linie beeinflusst haben (Fig. 26).

Ähnliches lässt sich für die scharfe östliche Begrenzung der Stabio-Antiklinale sagen, die ebenfalls dem Verlauf der Linie von Arzo entspricht. Seismische Untersuchungen bestätigen, dass die Stabio-Antiklinale hier im Untergrund nicht weiter nach E verläuft. Die präexistente Linie von Arzo dürfte somit als Transversalverschiebung reaktiviert worden sein.

Die nordöstliche Begrenzung des Lias-Aufschlusses von P. 508, E Arzo, die von SENN als Brandungshohlkehle aufgefasst wurde (op. cit., p. 577), entspricht nach unseren Untersuchungen einem tektonischen Kontakt. Die Verwerfung (um die Kapelle entspricht sie der bergseitigen Wegböschung) wurde schon im Rhät angelegt. Denn am Kontakt und einige Meter nach E treten überall Breccien auf, die Hauptdolomit-Trümmer in gelbem, leicht mergeligem, zerreiblichem Dolomit enthalten. Diese Grundmasse besteht vorwiegend aus einzelnen Dolomit-Rhomboederchen, mittelkörnigen, dolomitischen, detritischen Körnern, Glimmer, detritischem Quarz und Glaukonit. Aus lithologischer Analogie zu gewissen Lagen des S. Agata-Profiles stellen wir diese Grundmasse zum Rhät.

Die Störung wurde offenbar später, wahrscheinlich im Domérien, reaktiviert. Broccatello mit überlagerndem Besazio-Kalk (geringe Anteile) und Domérien-Mergelkalk wurde entlang einem scharfen tektonischen Kontakt abgesenkt. Dabei wurden grobe Blöcke und kleinere Trümmer von Broccatello und Besazio-Kalk in noch plastisch-fluidal sich verhaltendem Domérien-Mergelkalk resedimentiert. Trotz der Rundung gewisser dieser Komponenten scheint uns eine primäre, synsedimentäre Aufarbeitung an der Basis des Domérien-Mergelkalkes, etwa im Sinne SENNS (l. cit.) unwahrscheinlich: erstens aus Habitus und Verhalten der Mergelkalke selbst, die uns Slumping-Erscheinungen nahe zu stehen scheinen; dann aus dem Fehlen jeglicher Spuren von bohrenden oder sessilen Organismen, die beim durchwegs reich dokumentierten bentonischen Leben in den Domérien-Mergelkalken zu erwarten wären. Und schliesslich aus dem Fehlen von Hauptdolomit-Trümmern im Lias, die in einer Brandungshohlkehle anzunehmen wären. Es ist auch unwahrscheinlich, dass dieselbe Brandungshohlkehle vom Hettangien bis zum Domérien an derselben Stelle erhalten geblieben wäre.

2. Die Zone der Steinbrüche von Arzo

Ihre westliche Begrenzung manifestiert sich von der Höhe der Rhät-Aufschlüsse (westlich des grossen Steinbruches, Taf. IV, D/11, NE) bis zum Costone in einer breiten Bruchzone. HD/Rhät-Breccien und rhätische Anteile an Macchia vecchia sprechen auch hier für eine bereits rhätische Anlage. Die Breite dieser Bruchzone – am deutlichsten sichtbar zwischen den Rhät-Aufschlüssen und dem Hauptdolomit der S. Rocco-Scholle – dokumentiert ihren Dehnungscharakter bei gleichzeitiger Absenkung des E-Flügels. Eine breite, sich verzweigende Spalte

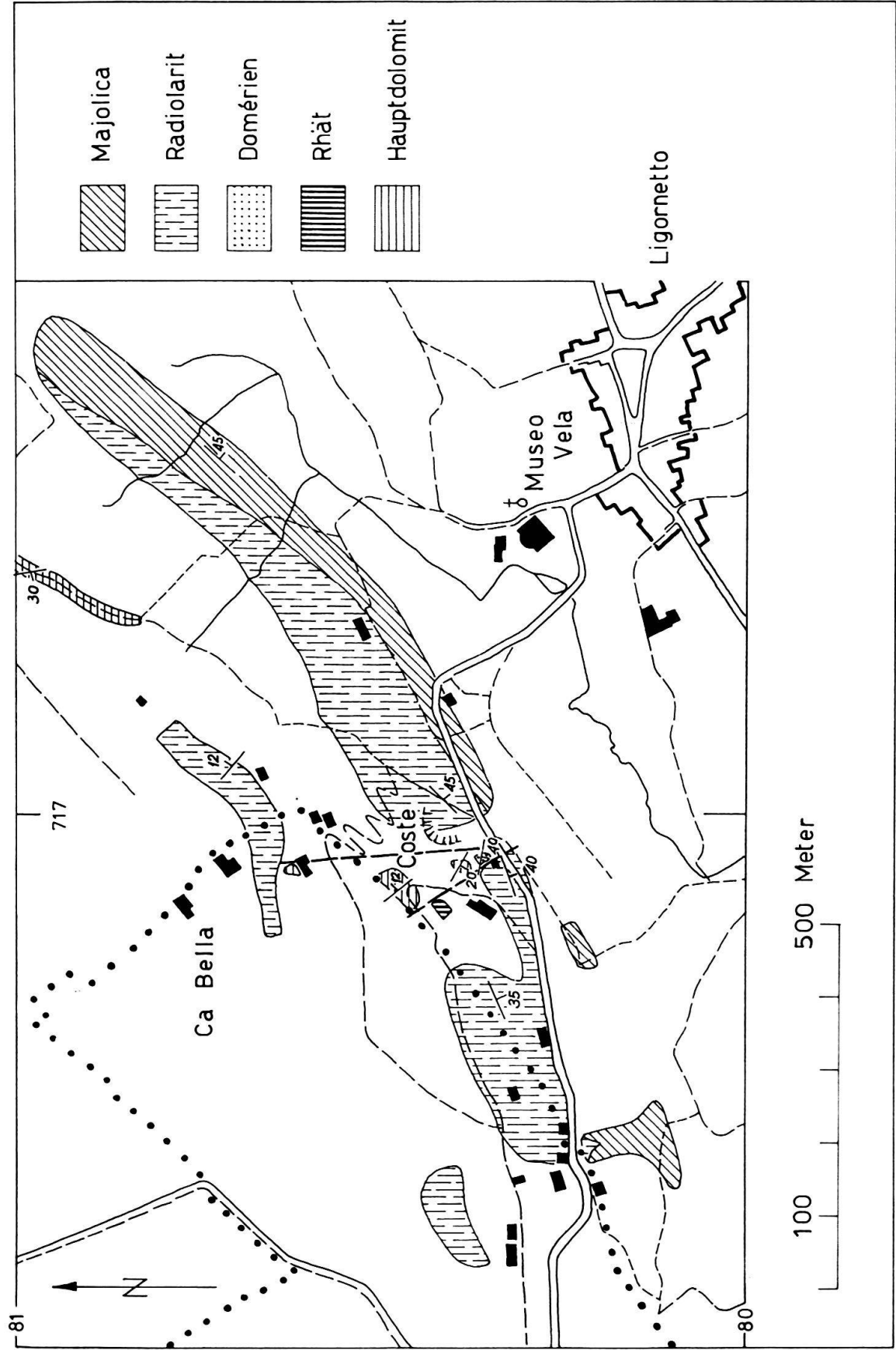


Fig. 26. Geologische Kartenskizze des Gebietes NW Ligornetto, 1:10000.

mit intrusivem Broccatello zeugt für eine unterliasische Reaktivierung. Nach S, vom stratigraphischen Kontakt Broccatello/Rhät über Bagno bis zur Certara, erfolgt die Begrenzung an einem scharfen tektonischen Kontakt Broccatello/Hauptdolomit.

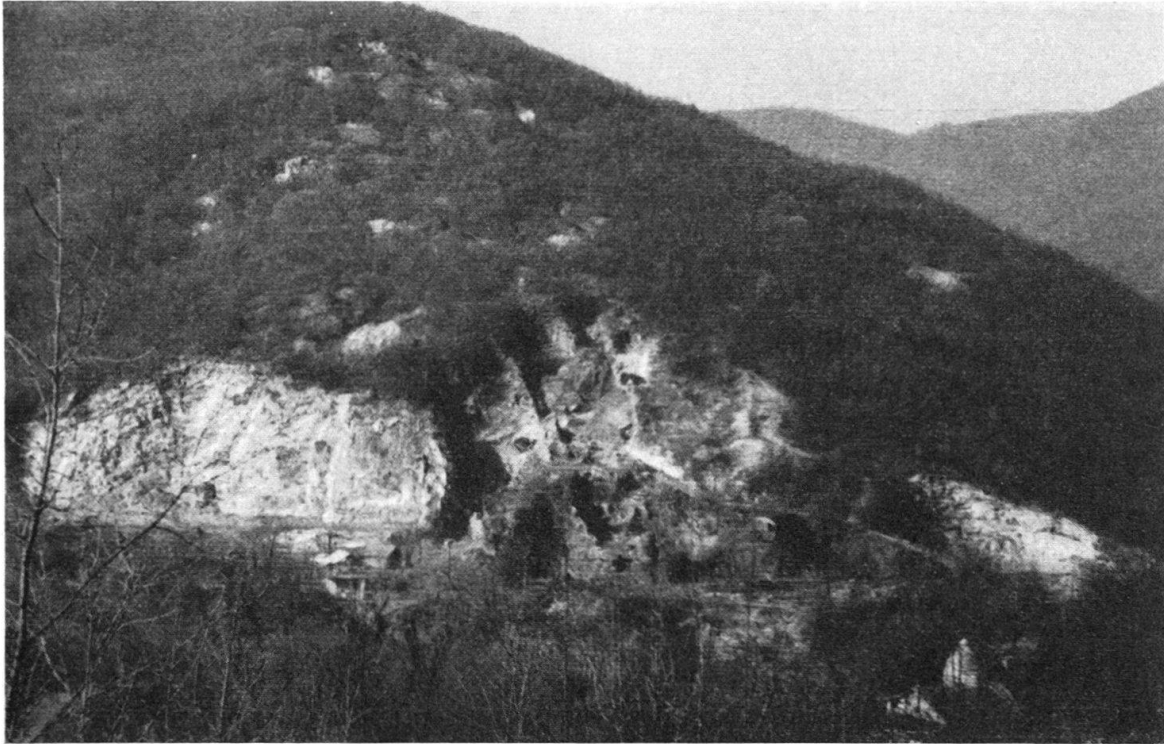


Fig. 27. Steinbrüche von Arzo, von SSE. Links N-Wand des grossen Steinbruchs, Rhät. Im mittleren Abschnitt Broccatello und Macchia vecchia mit deutlich hervortretenden, durch den Steinbruchbetrieb blossgelegten, steil nach E einfallenden Verwerfungen. Rechts Hauptdolomit.

Die Zone der Steinbrüche im N des Gaggiolo-Tälchens kann, trotz ihrer enormen Komplexität, in wenige Teilelemente eingeteilt werden, die zwar in sich wieder stark zerhackt erscheinen und wechselseitig interferieren, doch im wesentlichen eigenen Charakter und damit eigene Verhaltensweise ablesen lassen (cf. Fig. 27).

a) Im E an die westliche Begrenzung der Zone anschliessend folgt eine stark abgesenkte Scholle. Sie zeichnet sich durch ein mächtiges Rhät-Vorkommen aus, das von Broccatello überlagert wird. Im SE ist Broccatello und mittlerer Lias keilförmig nochmals eingesenkt. Im N schliesst an das Rhät zunächst noch wenig gestörter Hauptdolomit an. Er wird von breiten Macchiavecchia-Bändern, die von den Rändern her konvergieren, bald verdrängt. Die NNW-Richtung der Scholle wird auf halber Höhe nach NW geknickt. Etliche Spalten mit intrusivem Broccatello und mittlerem Lias durchziehen Broccatello, Rhät, Hauptdolomit und Macchia vecchia.

Die östliche Begrenzung der Scholle bildet eine komplexe, stellenweise ziemlich breite Spalte mit intrusivem Besazio-Kalk und Domérien-Mergelkalk, dann östlich daran anschliessend ein breites, stellenweise sich verzweigendes Band von Macchia vecchia, das von der Fornace nach NNW zieht.

Der grosse Steinbruch (EFG/11, 12) erschliesst eine unermessliche Fülle von Einzelheiten, die die Auswirkungen syngenetischer Tektonik, vor allem die sedimentären Intrusions-Erscheinungen reich dokumentieren. Diese Stelle bildet ein immer wieder lohnendes Studienobjekt, einen Angelpunkt innerhalb unseres Gebietes. Es kann sich aber hier nicht darum handeln, eine möglichst vollständige Aufzählung und Beschreibung der Details zu geben, dies würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Wir werden deshalb eine Auswahl der wesentlichen und augenfälligsten Stellen treffen.

An der S-Wand des Steinbruchs (F/12, NW) sind nebeneinander zwei Zonen zu sehen, die die ganze Wandhöhe schief durchschlagen und in denen der Broccatello stark gestört erscheint: mächtige Blöcke und kleinere Trümmer und Gerölle von Broccatello liegen dicht gepackt in rotem, Crinoiden-führendem Domérien-Mergelkalk. Viele der älteren Komponenten sind gut gerundet. Wir schliessen die Möglichkeit aus, dass es sich um normale, im Domérien aufgearbeitete und einsedimentierte Gerölle handelt. Vielmehr scheint uns Abrollung durch gegenseitige Attrition während des Intrusionsvorganges, in noch nicht ganz verfestigtem Zustand wahrscheinlich. Selbst riesige Blöcke von Broccatello sind nicht einfach in die Tiefe gesackt, sondern haben sich dabei zumindest um 180° gedreht, wie dies durch fossile Wasserwaagen in Brachiopoden bezeugt wird.

Ungefähr an derselben Stelle durchschlagen einige Gänge von ockergelbem Kalk mit Involutinen, Crinoiden-Trümmern und kleinen Mollusken, lithologisch sehr ähnlich den Vorkommen von P. 508 E Arzo, den Broccatello. Eine dieser Spalten ist im mittleren Lias wieder aufgerissen, wobei rotes, mergeliges Domérien intrudierte und Trümmer der älteren Gangfüllung mitriss.

Am W-Ende des Steinbruchs (E/11) tritt die schon beschriebene Auflagerung des Broccatello auf Rhät zutage (Fig. 24). Sie wird im unteren Teil durch mehrere kleine liasische, vielleicht alpin reaktivierte Verwerfungen verstellt. Die südlichen Teile sind entlang einer alpinen Scherfläche, die schief zum Schichtfallen verläuft, nach N aufgeschoben, wobei lokal Stauchfaltung auftritt. In den südlichsten Partien (auf Fig. 24 nicht mehr sichtbar) dringt Broccatello in mehreren Spalten tief in Rhät ein, die entlang aufgeplatzten Mergellagen lagergangartige Verbindungen aussenden. Diese Erscheinungen erfolgten in kleinerem Bereich manchmal mehrphasig (Fig. 28).

Die N-Wand des Steinbruchs, die im wesentlichen aus Rhät besteht, ist durch spät-rhätische (untergeordnet) und liasische, z. T. alpin reaktivierte Verwerfungen beansprucht; ferner von Zerrklüften und unregelmässigen, sich verzweigenden und anastomosierenden, oft sehr feinen Rissen mit rhätischen, unter- und mittel-liasischen Intrusionen durchsetzt. Sie verleihen dem Ganzen oft den Habitus einer grobblockigen Breccie. Schliesslich bringen zwei alpine, schief zum Schichtfallen verlaufende Scherflächen noch weitere Komplikationen mit sich. Eine durchzieht den vorspringenden W-Flügel von unten bis oben, die andere den zurückversetzten Mittelteil von der westlichen einspringenden Ecke bis zur östlichen, auf halber Höhe der Wand. Die letzte ist wahrscheinlich für die starke Änderung im Streichen (N 40–60° W im W und N 30–55° E im E) verantwortlich.

Im westlichen Abschnitt des zurückversetzten Mittelteils (F/11) ist zunächst, 8 m östlich des Karstloches, eine ca. 30 cm breite 3-phasige Intrusions-Spalte zu

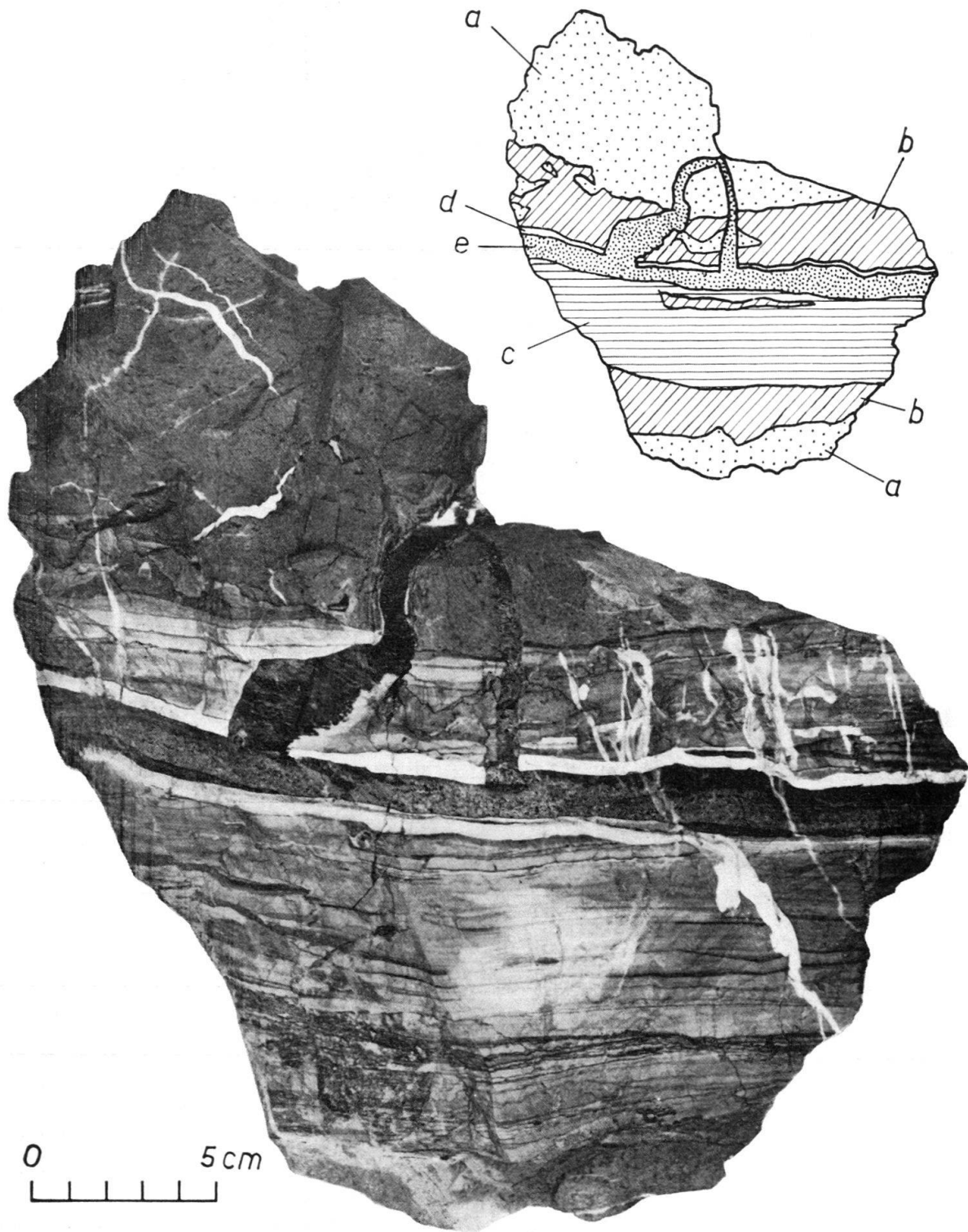


Fig. 28. Mehrphasiger Lagergang im Dach des Rhät, bedingt durch Aufreissen entlang einer mergeligen Lage. Grosser Steinbruch von Arzo, NW-Ecke. a) Rhät. b), c) Intrusionsphasen von Broccatello. d) Calcitisch-spätiges Salband im Dach von c). e) Intrusiver Besazio-Kalk.

sehen (Fig. 29). Den Hauptanteil nimmt an beiden Rändern gelblicher bis fleischfarbiger Broccatello ein, der im östlichen Teil massenhaft *Rhynchonellina alpina* PARONA führt. In der Mitte dieser ersten Gangfüllung verläuft als zweite Intrusion



Fig. 29. Mittelteil der N-Wand des grossen Steinbruchs von Arzo (F/11). Dreiphasiges Intrusions-System in Rhät, bestehend aus Broccatello (schräg schraffiert), am rechten Rand *Rhynchonellina alpina* PARONA führend, Besazio-Kalk (punktiert) mit aufgearbeiteten Rhynchonellinen und Domerien-Mergelkalk (waagrecht schraffiert).

sionsphase rosa Besazio-Kalk, der aufgearbeitete Rhynchonellinen aus dem unmittelbar benachbarten Broccatello enthält. Entlang dem W-Rand der zweiten Phase schliesslich, verläuft ein feiner Gang von Domerien-Mergelkalk, der sich stellenweise ausweitet und Ausläufer ins Innere des Besaziokalk-Ganges sendet.

In der nächsten Umgebung dieser Stelle sind einige Gangfüllungen mit weissen bis rosa Encriniten zu beobachten. Aus einem dieser Vorkommen stammen einige kleine Asteroцерaten (*A. obtusum* (Sow.), *A. varians* Fuc.).

Der vorspringende E-Flügel (FG/11) ist besonders stark durch Paläotektonik und Intrusionen beansprucht (Fig. 30). Die Lithologie und die noch deutliche Bankung des Rhäts, sowie die charakteristische mergelige Lumachelle auf dem Dach kontrastieren wirksam mit den späteren Phasen und geben einen Maßstab für das Ausmass der Verstellungen. Der Schichtverband wird durch Verwerfungen in eine Reihe von antithetischen, schmalen Schollen zerlegt. Entlang der zweiten Verwerfung von W ist intrusiv eingedrungenes Material aus dem Dach zu beob-

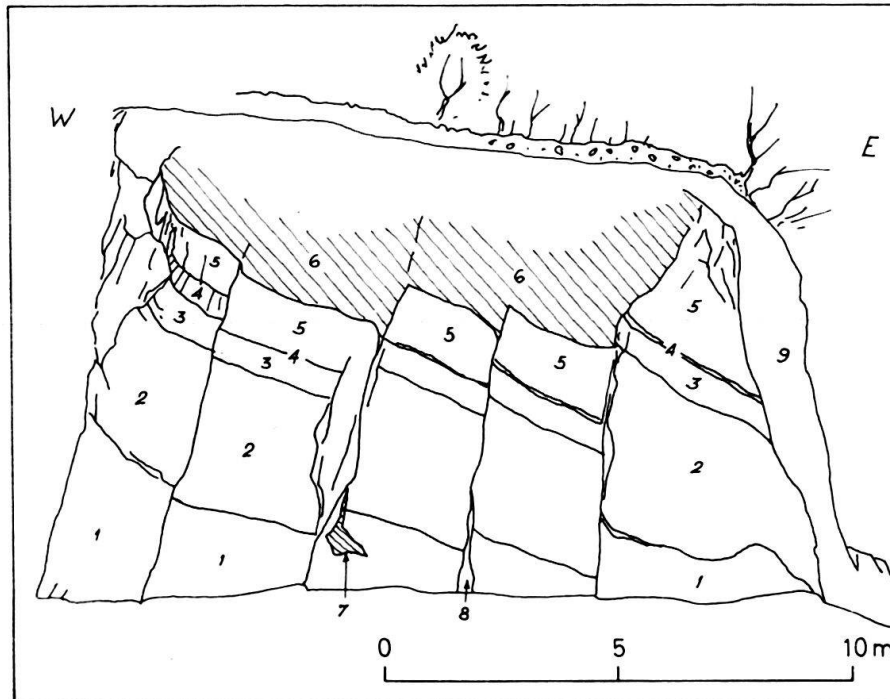


Fig. 30. Ansichtsskizze des E-Flügels (F, G/11 auf Taf. IV) des grossen Steinbruchs von Arzo 1:200.

9. Broccatello, Besazio-Kalk und Domérien-Mergelkalk in Kluft.
8. Verfestigt transportierte Brocken von Lumachelle 5 (oben) in Besazio-Kalk.
7. Halbverfestigte Brocken von Lumachelle 5 (Oberteil) in unverfestigt geflossenem Material von 6.
6. Gelbe, mergelige Lumachelle.
5. Dichter Kalk, oben in Lumachelle übergehend.
4. Gelbe Mergellage.
3. Gelblicher dolomitischer Kalk, teilweise feinschichtig oder brecciös.
2. Unten feinschichtige, oben grobklastische dolomitische Kalke.
1. Dichter, kantendurchscheinender Kalk.

achten: an einer Stelle an der Basis (Nr. 7 auf Fig. 30) befinden sich halbverfestigt transportierte Brocken aus dem Dach der Schicht 5 in unverfestigt intrudiertem Material aus Schicht 6. In der östlich anschliessenden Verwerfungsspalte führt intrudierter Besazio-Kalk verfestigt transportierte, eckige Komponenten aus Schicht 5.

Das Bild wird weiterhin bestimmt durch ein komplexes Netz von $\pm$ vertikalen, unregelmässigen, sich verzweigenden und anastomosierenden Rissen mit intrusivem Broccatello, Besazio-Kalk und mergeligem Domérien. In der vorspringenden westlichen Ecke, knapp über der Steinbruch-Sohle, durchdringt ein feines (etwa cm-dickes) Riss-System mit mergeligem, tiefrotem Domérien diskordant ein früher angelegtes mit Besazio-Kalk (Fig. 31). Besonders auf einer Schichtfläche innerhalb von 2 (auf Fig. 30) sind Lagergänge sichtbar, die mit dem vertikalen Riss-System kommunizieren (Fig. 32).

Die Rhätaufschlüsse werden nach E scharf abgeschnitten durch eine ca. 2 m breite, markante Spalte, die sie von der östlich anschliessenden, weiter abgesenkten, nach N auskeilenden Teilscholle trennen (Fig. 33). Die Spalte führt von der E-Ecke des E-Flügels nach S überwiegend mergeliges, tiefrotes Domérien

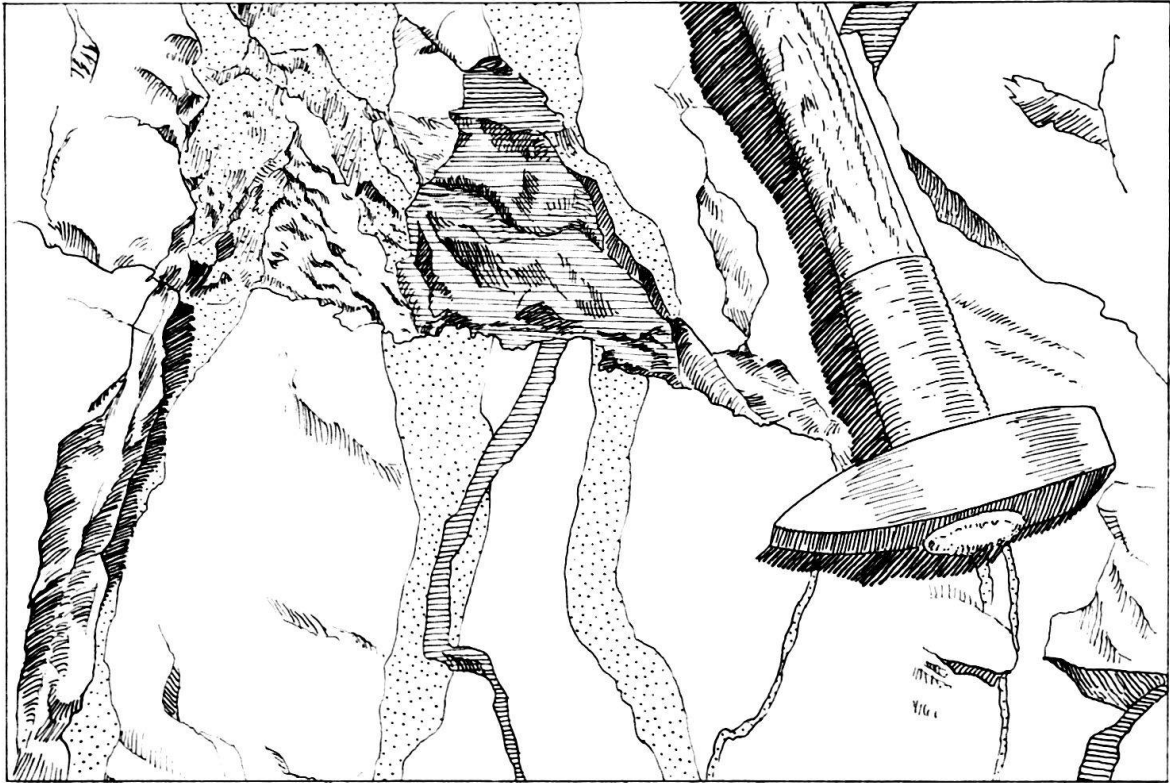


Fig. 31. Grosser Steinbruch von Arzo, W-Ecke des E-Flügels. Intrusiver roter Domerien-Mergelkalk (waagrecht schraffiert) durchdringt diskordant ein früher im Rhät-Kalk angelegtes Riss-System mit Besazio-Kalk-Füllung (punktiert).



Fig. 32. Grosser Steinbruch von Arzo, E-Flügel. Vertikales Riss-System im Rhät kommuniziert mit Lagergängen entlang einer Schichtfläche. Füllung vorwiegend Besazio-Kalk (punktiert).

mit oft gerundeten Trümmern von Broccatello und Besazio-Kalk; von derselben Stelle nach N vorwiegend Besazio-Kalk mit Trümmern von Rhät und Broccatello. Diese, vor allem quantitativ unterschiedliche Verteilung von mergeligem Domérien und Besazio-Kalk in der Spalte drückt eher die Heteropie zwischen beiden Typen aus als zeitlich getrennte Intrusionsphasen.



Fig. 33. Cave d'Arzo, Ansicht des zentralen Teils (etwa G/11) von Süden. Links der E-Flügel des grossen Steinbruchs: nach SE einfallendes, stark von Gängen und Lagergängen verschiedenen Alters durchsetztes Rhät. Links im Vordergrund ist die Basis des überlagernden Broccatello sichtbar. Durch die Mitte zieht eine Spalte (= 9 auf Fig. 30), die im Vordergrund vorherrschend roten Domérien-Mergelkalk (schräg schraffiert) mit $\pm$ gerundeten Trümmern von Broccatello und Besazio-Kalk führt, während im Hintergrund Broccatello und Besazio-Kalk als Spaltenfüllung überhand nehmen. Rechts Broccatello mit steil nach E einfallenden, meist alpin durch Tangentialbewegungen reaktivierten Verwerfungen.

Dort wo diese Spalte die Basis des Broccatello durchsetzt, etwa 3 m N des Weges (G/11, SW), ist besonders schön die Auswirkung alpiner Reaktivierung zu studieren: der westliche intrusive Kontakt zwischen Broccatello und dem Mergelkalk der Spalte ist uneben, verbuckelt. Die alpine, tangential Beanspruchung äussert sich in einem calcitischen Rutschspiegel, der bald innerhalb der Domérien-Füllung, in einigem Abstand vom alten Kontakt verläuft, bald direkt auf diesem (Fig. 34).

Westlich an diese Stelle anschliessend folgt bräunlich-oranger Broccatello mit kalkspatisierten Höhlen und Zwickeln, sowie Pharetronen (Sinémurien?) Einige Meter weiter westlich folgt, an einem scharfen tektonischen (intrusiven?) Kontakt, der schon beschriebene, hellere Broccatello mit den Asteroceraten.

Etliche scharf abgesetzte Risse mit Mittellias-Füllung durchschwärmen hier den Broccatello und setzen sich im Rhät fort.

Die im E gegenüberliegende Wand (bei der kleinen Hütte) zeigt wiederum alpine tangentielle Reaktivierung, in Form von $\pm$ waagrecht verlaufenden Rutschharnischen.



Fig. 34. Alpine Reaktivierung eines paläotektonischen Kontakts: links Broccatello, rechts Domérien-Mergelkalk mit Trümmern von Broccatello und Besazio-Kalk. Kontakt bucklig, nicht immer scharf. Calcitischer Rutschspiegel subparallel dazu. Steinbrüche von Arzo (Taf. IV, G/11, SW).

Die W-Wand des nach E zunächst anschliessenden Steinbruchs (G/11, SE) besteht aus einer etwa m-breiten Spaltenfüllung mit rotem Domérien-Mergelkalk. Sie unterscheidet sich deutlich von anderen ähnlichen Spalten durch das halbverfestigt eingedrungene Sediment: die Schichtung ist noch deutlich zu erkennen, wenngleich stark verbogen und deformiert, etwa in der Art eines Slumping (Fig. 35).

Nach E folgt eine ca. 30 m breite Zone mit Broccatello und Besazio-Kalk, die sich zu groben, unregelmässigen Breccien kombinieren, wohl im Gefolge von Dehnungs-Phänomenen.

Sodann schliesst der schon besprochene Aufschluss mit geschichteten Domérien-Mergelkalken an (H/11, S). Er wird nach E abgesetzt durch eine Spalte aus lithologisch analogem, doch deutlich vertikal-fluidal struiertem Material, mit Schlieren aus Crinoiden-Trümmern.



Fig. 35. Halbverfestigt, in noch deutlich abgezeichnetem Schichtverband auf paläotektonischer Spalte in Broccatello eingedrungene Mergelkalke des Domérien. Steinbrüche von Arzo (Taf. IV, G/11, SE).

Schliesslich folgt bis zur «Cava Galfetti» (I/10, 11) eine 25 m breite Zone von Macchia vecchia, die an ihrem östlichen Rand (W-Wand des Steinbruchs) einige Spalten mit Broccatello, Besazio-Kalk und mergeligem Domérien aufweist.

Vor der Besprechung der weiter östlich anschliessenden Schollen und Zonen möchten wir der Macchia vecchia einen besonderen Abschnitt widmen.

b) Charakterisierung und Interpretation der Macchia vecchia. Es sind grobe, äusserst unregelmässige, bunte Breccien mit Hauptdolomit als ältester Komponente und meist mehreren Phasen von kalkiger Grundmasse. Die Hauptdolomit-Fragmente variieren stark im Umfang und sind sehr unregelmässig be-

grenzt. Nicht selten sind ganze Schichtpakete. Auch ihre Lithologie wechselt machmal auf engstem Raum: dichte bis mittelkörnige, massige und feinschichtige, manchmal feinbrecciöse, hell- bis dunkelgraue, grünliche, gelbliche und violette Typen. Es gibt Übergänge zwischen von Kalkadern durchschwärmten Dolomitpartien und Typen mit vorwiegender kalkiger Grundmasse. Man kann darin ausgefüllte Risse mit korrespondierenden Rändern (blosses Klaffen) und mehr oder weniger ebene Bewegungsflächen mit nicht aufeinanderpassenden Rändern erkennen.

Es sind mindestens 5 Phasen von meist intrusiver Grundmasse zu unterscheiden, die schon dadurch eine chronologische Reihenfolge zeigen, dass sie gegeneinander abgesetzt sind und sich gegenseitig durchdringen. Durch lithologische Vergleiche mit benachbarten homogenen, durch Fossilien belegte Partien lassen sie sich zudem im allgemeinen datieren. Sie vertreten im Prinzip sämtliche in diesem Gebiet selbständig vorkommenden Gesteine, die jünger als Hauptdolomit sind:

1. Ein System von weissen Calcit-Adern und -Füllungen von unregelmässigen Hohlräumen. Der Hauptdolomit zeigt sich oft in grösseren, noch zusammenhängenden Partien zerbrochen, bereichsweise nur von Calcitadern durchschwärmt oder in weiter auseinanderliegende Trümmer aufgelöst. Im letzten Falle sind diese Fragmente meist gerundet und randlich angelaugt, mit blumenkohlartigen Konturen. Die calcitisch-spätige Grundmasse zeigt, meist nur in reliktschen Inseln, am ehesten um die angelaugte Peripherie der Hauptdolomit-Trümmer, haar-scharf-feinschalige, leicht bräunliche Ausbildung. Diese feinen Schalen zeigen, selbst bei grösserer Dicke der Krusten, einen welligen Verlauf, der die Unregelmässigkeiten der Trümmerkanten reproduziert und bei zunehmender Dicke verstärkt. Wir deuten sie als Sinter, als Ausdruck karstischer Phänomene, die möglicherweise mit der Unterrhätischen Emersionsphase in Zusammenhang stehen.

Nach diesen Bildungen blieben z. T. recht umfängliche Hohlräume und Zwickel offen, die im oberen Rhät durch Phase 2 erfüllt wurden. Dabei bilden sich an den Kontakten mit Phase 1 calcitisch-spätige Reaktionssäume, die die Sinter weitgehend verdrängten. Diese zweite Calcit-Generation ist meistens ebenfalls schalig, doch viel undeutlicher und gröber als die erste. Diese Schalen gleichen auch im Unterschied zu den Sintern sofort alle Unregelmässigkeiten der Konturen aus. Die Bildung dieser calcitischen Reaktionssäume muss nach erfolgter Intrusion von Phase 2 längere Zeit angedauert haben, im Gefolge des chemisch-physikalischen Ungleichgewichts zwischen Phase 2 und 1, resp. Hauptdolomit. Dabei wurde Phase 2 in reliktsche Zwickel mit lang ausgezogenen Ausläufern verdrängt.

Ähnliche weisse Reaktionssäume, sowie durch Stoffwanderung in engen Bereichen alterierte Kontakte sind, wenn auch nicht in der Regel, auch allen jüngeren Intrusionsphasen zuzuordnen, offenbar gleichfalls als Ausdruck des gestörten und sich wieder einspielenden chemischen Gleichgewichts des Systems. Dies gilt auch für intrusive Gänge und Risse in sonst ungestörtem Gestein («Salbänder»).

2. Hellgelbe und grünliche mergelige Dolomite, dolomitische und kalkige Mergel, manchmal oolithisch oder pseudoolithisch, seltener Lumachellen. Oberes Rhät.

3. Broccatello, in sämtlichen Spielarten. Manchmal in zwei Phasen.

4. Besazio-Kalk.

5. Mergeliges, tiefrotes, glimmerführendes Domérien.

Nicht nur die volumetrische Verteilung der einzelnen Phasen als Grundmasse, auch die Art ihrer Kombination zu ein- und mehrphasigen Trümmern ist grossen Schwankungen unterworfen. (Z. B. liegen etwa Trümmer, die Hauptdolomit-Brocken mit Calcit-Adern und -Säumen in Broccatello enthalten, in Besazio-Kalk, wobei sie von weissen Calcit-Säumen umgeben sind; das gesamte Gefüge wird von tiefroten, mergeligen Adern einer jüngsten Domérien-Phase diskordant durchschlagen). Damit wird evident, dass die Bildungen ihre Entstehung nicht einem einmaligen Zusammenbruch einer bis anhin konkordanten Serie verdanken, etwa im Gefolge von Dehnungserscheinungen oder vorangehender karstischer Auswitterung. Vielmehr sind dafür zeitlich getrennte tektonische Ereignisse verantwortlich zu machen – Dehnungen haben wahrscheinlich die wichtigste Rolle gespielt –, die unmittelbar zur Ausfüllung der entstandenen Hohlraumssysteme führten. Sie waren getrennt durch Perioden der Wiederherstellung des physikalisch-chemischen Gleichgewichts (Stoffwanderung entlang Kontakten und Inhomogenitätsflächen, Stylolithen, calcitische Säume) und der Zementierung.

Noch bleibt die räumliche Verteilung in einem weiteren Rahmen als dem des Handstücks zu klären: *Macchia vecchia* tritt in meist schmalen Gräben auf (1 m bis 150 m), die den Hauptdolomit senkrecht oder in einem steilen Winkel zur Schichtung durchschlagen. Sie streichen zwischen NW und NNE und sind durch scharfe, $\pm$ parallele Flächen begrenzt. Dies spricht für eine Bindung an präexistente Verwerfungen.

Ein besonders charakteristischer Umstand liegt in der Abwesenheit von Sortierung und Gradation der Trümmer und im allgemeinen von Zonierung der intrudierten Grundmassen. Wohl sind manchmal $\pm$ scharf begrenzte Spalten mit Broccatello oder mittlerem Lias innerhalb der *Macchia vecchia* zu beobachten, doch in der Regel sind die Trümmer und die einzelnen Grundmassephasen, statistisch über grössere Bereiche betrachtet, richtungslos verteilt. Dafür können verschiedene Deutungen gegeben werden und die verschiedenen Ursachen und Auswirkungen, die sie betreffen, mögen gleichzeitig oder nacheinander interferiert haben.

1) Phase 1 und 2 unterscheiden sich von den jüngeren durch den geringeren Grad von rupturellem Verhalten des Paläosoms, wie an wenigen Stellen beobachtet werden kann. Phase 1 folgt oft schichtparallelen Zonen innerhalb des Hauptdolomits. Dies dürfte z. T. auf primär-lithologisch bedingte Schwächezonen in bezug auf die Anfälligkeit gegenüber karstischer Verwitterung zurückzuführen sein, etwa auf primär-brecciöse Horizonte (ein solches Beispiel werden wir noch beschreiben), z. T. auf damit zusammenhängende, geringe schichtparallele Bewegungen einzelner Schichtpakete gegeneinander. Für letzteres sprechen auch feine subvertikale, kalkspatisierte Ruptursysteme, die mit den schichtparallelen Vorkommen von Phase 1 kummunizieren.

Phase 2 (meist mergelig) intrudiert entlang dem ersten subvertikalen Riss-system oder in eigenen Rupturnetzen derselben Grössenordnung, auch entlang dünnen Lagergängen, und erfüllt die von Phase 1 offengelassenen Hohlräume. Durch dieses bereits engmaschige Netz ergibt sich eine «Vorbehandlung» des

Gesteins im Sinne einer weitgehenden Isotropie gegenüber späteren rupturellen Beanspruchungen.

2) Es ist denkbar, dass die *Macchia vecchia*-Zonen in gewissen Fällen an Streifen gebunden sind, die sich durch Bruchschärung oder Interferenz voneinander spitzwinklig schneidenden Bruchsystemen früherer, später verwischter (rhätischer) Phasen auszeichneten. Sie hätten vorzugsweise rupturell anfällige Schwäche-zonen bezeichnet, etwa relativ gehobene schmale Horste, die an der Rhät/Lias-Grenze durch Erosion stark in der Hauptdolomit-Mächtigkeit reduziert wurden. Während der subsequenten Überlagerung durch Broccatello und mittleren Lias hätten wiederholte Phasen von Zerrtektonik, bei gleichzeitiger Absenkung und Intrusion zur Bildung von *Macchia vecchia*-Zonen geführt.

3) Bei genügender grabenartiger Absenkung der Zonen könnten die benachbarten Schollen, besonders ihr Hauptdolomit, zusätzliches klastisches Material geliefert haben, indem durch Schollenkipfung ganze Schichtpakete entlang Schichtflächen ins Rutschen kamen und über die steilen, tektonisch angelegten Böschungen in die *Macchia vecchia*-Gräben stürzten.

4) Vor allem durch Schweregleitung ganzer Schollen auf der Raibler-Unterlage mögen neben Zerrbewegungen gleichzeitig auch Quetschvorgänge erfolgt sein. Sie hätten zusätzliche Rupturen gezeitigt und intrudiertes Material selbst in feinste Hohlräume und Risse gepresst.

Die besten *Macchia vecchia*-Aufschlüsse finden sich dort, wo durch den modernen Steinbruchbetrieb grosse plane Flächen durch Drahtseilsägen erschlossen wurden: im tiefen Steinbruch an der Strasse, beim Sägewerk (K/8, 9); im neu angelegten kleinen Steinbruch nördlich davon (K/7, SE), sowie im «Marmorzimmer-Steinbruch» auf 630 m Höhe (D/4, N, Fig. 36). Überdies liegen beim zuerst erwähnten Steinbruch und beim Sägewerk ständig genug Platten und ausgesägte Blöcke herum, die Einblick in die mannigfaltigen Spielarten dieses Gesteins gewähren, und besonders bei Wasserbenetzung zu schönster Wirkung gelangen.

c) Die Scholle zwischen Fornace und Sägewerk.

Sie wird hauptsächlich aus Hauptdolomit aufgebaut und nur von wenigen, engen *Macchia vecchia*-Zügen durchsetzt. Den besten Einblick erlaubt die «Cava Galfetti» (I/10, 11), in der Hauptdolomit zur Speisung des Kalkofens gebrochen wird.

Die Schichtung ist hier durch spitzwinklig dazu verlaufende alpine Scherflächen gestört. Auf halber Höhe, vor allem im östlichen Teil, ist eine dünne rote, in grünlich-gelb übergehende Mergellage sichtbar; ca. 1 m darunter eine undeutlich abgegrenzte, brecciös erscheinende Lage: der Hauptdolomit ist hier primärbrecciös und weist kleinere und grössere rundliche Hohlräume, Zwickel und Adern auf, die ganz oder teilweise durch schaligen, weissen Calcit ausgekleidet sind. Die dünne rote Mergellage erscheint bei genauer Betrachtung nicht streng konkordant und kommuniziert oben und unten mit einem System von feinen, subparallelen und diskordanten Rissen. In gewissen Abständen füllt dieselbe Masse NNW-streichende, cm-dicke Spalten (Bewegungsflächen) aus und dringt darauf in die erwähnte brecciös-kavernöse Lage im Liegenden ein, die noch offen gebliebenen Räume ganz ausfüllend. Die Anlage der Hohlräume und z. T. die



Fig. 36. Cave d'Arzo, «Marmorzimmer-Steinbruch» (Taf. IV, D/4, N). Die plangesägte E-Wand gewährt besonders schön Einblick in das Grossgefüge der Macchia vecchia. Rechts ganze Schichtpakete von Hauptdolomit. Links von der Mitte komplexe, mehrphasige Trümmer in Domérien-Mergelkalk. Hammer (rechts von der Mitte) 50 cm lang.

Calcit-Auskleidung entsprechen Phase 1 der Macchia vecchia. Ein Teil der Calcit-Beläge dürfte Reaktionssäume mit den intrudierten Mergeln (Phase 2) darstellen. Somit illustriert dieser Zustand ein Frühstadium der Macchia vecchia-Bildung, wie es in b) 1 dargelegt wurde.

Der Hauptdolomit fällt hier nach S ein, weiter nördlich nach SW.

d) Die Macchia vecchia-Zone Sägewerk–Gaggiolo-Brücke.

Sie wird im W durch eine markante Fläche begrenzt, die unmittelbar westlich vom Sägewerk durchzieht und sich im N dem hier nach SE abbiegenden Ausläufer der Costone-Fluh entlang zieht. Am E-Hang des Gaggiolotälchens sind ihre östlichen Teile, z. T. allerdings sehr lückenhaft aufgeschlossen. In den nördlichsten Aufschlüssen dieser Talseite stösst Macchia vecchia mittelst einer etwa m-breiten Spalte mit intrusivem Besazio-Kalk an stark abgesenktes Rhät mit überlagerndem Broccatello, der vereinzelte Hauptdolomit-Trümmer enthält. Der E-Rand der Macchia vecchia ist weiter im S wieder aufgeschlossen und stösst entlang einer scharfen Grenze direkt an Broccatello. Unterhalb der Kloake (Fogna) von Tremona (717530/082030) wird die Macchia vecchia von Broccatello überlagert, der gleich westlich anschliessend in einer breiten Spalte intrusiv in sie eindringt (besonders gut sichtbar im Steinbruch am Weg unterhalb Ongè, 717465/082150). Die Verwerfung Gaggiolo–Besazio ist südlich der Kloake von Tremona nirgends aufgeschlossen. Sie ist nur zwischen Grom und Besazio durch einen kleinen Aufschluss von fluidal texturiertem, intrudiertem Besazio-Kalk fassbar.

e) Präexistente, nicht direkt sichtbare Linien.

Vom NNW streichenden westlichen Rand der Zone d), etwa auf halber Höhe zwischen Sägewerk und Costone, zweigt ein ca. 50 m breiter Macchia vecchia-Streifen in NW-Richtung ab. Seine westliche Begrenzung dürfte einer präexistenten, nicht mehr direkt sichtbaren Linie entsprechen, die sich in besonders starken Interferenzerscheinungen der jüngeren Bruch- und Spaltensysteme äussert, indem diese, von beiden Seiten auf sie zu streichend, von NNW in ihre NW-Richtung abgebogen werden und sich auf ihrer Höhe verzweigen.

Ähnliches gilt für die Linie, die, ausgehend vom Ende der plötzlich auskeilenden, aus Broccatello und Besazio-Kalk kombinierten breiten Spalte in Steinbruch E/6, die westliche Begrenzung der Steinbruchzone auf 640 m Höhe plötzlich nach NW abbiegt, bis sie NW P. 707 die Linie von Arzo erreicht. Sie setzt sich wahrscheinlich von der erwähnten Broccatello/Besazio-Kalkspalte bei F/9, E, durch sie leicht abgesetzt, nach SE bis zur Fornace fort.

Der Verwerfungscharakter dieser Linien und ihre Präexistenz in bezug auf die NNW streichenden Systeme ergibt sich auch aus dem Streichen der Hauptdolomit- und Rhät-Anteile der durch sie abgegrenzten Schollen: in der westlichen im allgemeinen SSE, in der mittleren vorherrschend SSW bis SW, in der östlichen, entlang dem Costone, SE bis ESE.

3. Die Zone Cave di Besazio–Tremona–Sermonte

Eine wichtige Verwerfung durchzieht sie diagonal in NNE–SSW-Richtung, von Besazio bis Ronco Vassalli, und zerlegt sie in zwei etwa dreieckig abgegrenzte Teil-

schollen. Die südliche wird durch eine NNW-streichende Verwerfung, die teilweise Spaltencharakter zeigt, wiederum in zwei Teilschollen unterteilt, wobei die viel breitere westliche gegenüber der schmalen östlichen abgesunken erscheint. Im Prinzip ähnliche Verhältnisse herrschen in der nördlichen Teilscholle, nur sind sie komplizierter: die westliche Hälfte ist gegenüber der östlichen wiederum abgesunken, doch zerfällt sie in einige deutlich gegeneinander abgesetzte Teilstücke.

a) Die nördliche Teilscholle.

Zunächst schliesst an die östliche Macchia vecchia-Zone der Steinbrüche von Arzo eine schmale Scholle mit stark abgesenktem Rhät und überlagerndem Broccatello an. Dieser tritt an der Strasse Tremona–Guana, um die Kurve NW Ongè, deutlich zutage. Er führt oft Trümmer von Hauptdolomit und Rhät und wird hie und da von intrusivem Besazio-Kalk und Domérien-Mergelkalk durchsetzt.

Sodann folgt ein schmaler, nach NNW auskeilender Horst aus Hauptdolomit. Er ist entlang der Strasse Tremona–Guana gut aufgeschlossen und stark von Lias-Intrusionen durchsetzt. Sie äussern sich bald in scharf abgesetzten subvertikalen Gängen, bald in unregelmässig begrenzten, anastomosierenden und sich verzweigenden, im wesentlichen saigeren Zonen. Beide senden seitlich gewöhnlich Lagergänge aus, die Schichtflächen des Hauptdolomits folgen (Fig. 37).

Schliesslich folgt, NNW Nifrè aufgeschlossen, eine breitere Scholle mit relativ mächtigem Rhät und diskordant überlagerndem Broccatello. Der Kontakt Rhät/Hauptdolomit ist nicht aufgeschlossen. Das Liegende, sichtbar an der Strasse und zwischen Val di Pülas und Sermonte, wird durch eine rhätische, liasisch reaktivierte Verwerfung in zwei Teile getrennt: der östliche besteht aus Hauptdolomit, der westliche aus HD/Rhät-Breccie. Sie ist den enthaltenen Phasen nach dem schon besprochenen Ostteil der Cava Calfetti vergleichbar, nur waren hier die Bewegungen und dementsprechend das rupturale Verhalten ungleich stärker.

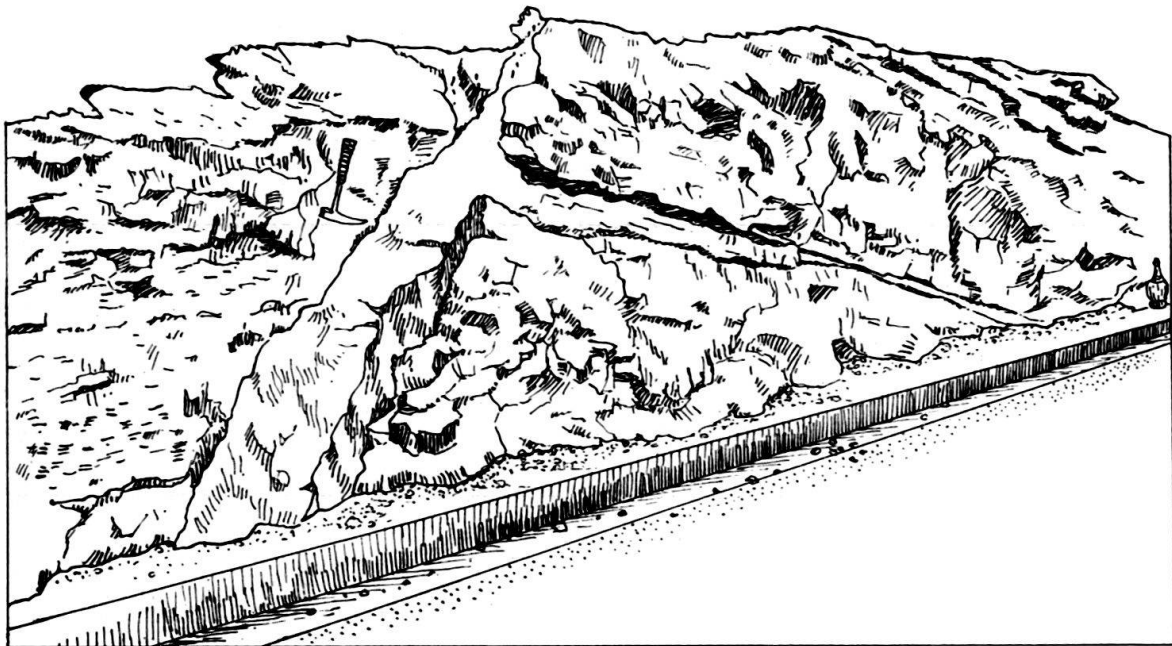


Fig. 37. Strasse Tremona–Guana. Ein Gang von Broccatello in Hauptdolomit sendet entlang einer Schichtfläche einen Lagergang aus.

Die Scholle wird im E begrenzt durch einen breiten Graben mit *Macchia vecchia* im nördlichen (liegenden Teil) und intrudiertem Broccatello im südlichen (hangenden) Abschnitt.

Weiter im E gelangt man in eine breite Scholle aus Hauptdolomit, die in der Mitte wiederum einen 50 m breiten, scharf begrenzten *Macchia vecchia*-Graben enthält. Östlich dieses Grabens interferiert ein NNW streichendes System von Spalten mit einem NNE-streichenden. Sie enthalten beide vorzugsweise intrusiven Broccatello. Besonders häufig treten sie um Castello di Tremona auf. Eine von ihnen wurde von SENN (op. cit., p. 581/82) als taschenförmiges Liasrelikt aufgefasst und in Verbindung mit dem östlich anschliessenden *Macchia vecchia*-Vorkommen und dem entsprechenden Niveau-Unterschied für den Nachweis der extremen Diskordanz seiner Lias-Transgression benützt.

b) Die südliche Teilscholle.

Ihr westlicher Abschnitt, das Dreieck Besazio–Cave di Besazio–S. Agata, lässt noch deutlich sein mehrphasiges paläotektonisches Verhalten ablesen, trotz der Überprägung durch die alpine Faltung (die Achse der Barozzo-Antiklinale – vgl. SENN, op. cit., Fig. 7 – verläuft mitten durch diesen Abschnitt). Der Hauptdolomit-Anteil der Scholle wurde offenbar vor der Überlagerung durch Rhät stark nach W gekippt, denn sein Streichen wird von der Barozzo-Antiklinale nur wenig abgebogen und es herrscht allgemein starkes westliches Axialgefälle. Demgegenüber nähert sich das Streichen des Rhätmantels stark der Richtung der Antiklinalachse, er weist geringes westliches Axialgefälle auf. Die Winkeldiskordanz zwischen Rhät und Hauptdolomit ist besonders am Südschenkel, beim Ronco und Gromesago, evident.

Westlich einer Linie, die die erste Strassenkurve unterhalb Besazio (P. 463) mit S. Agata verbindet, dünnt der Rhätmantel stark aus, ist oft nur in Relikten erhalten, so dass mancherorts Broccatello direkt auf Hauptdolomit lagert. Etwa 100 m westlich dieser Linie setzt Rhät in ziemlicher Mächtigkeit wieder ein, offenbar stark gestört, wie die untereinander stark abweichenden Fallzeichen bedeuten. Die Plötzlichkeit dieser Übergänge legt Verwerfungen nahe, entlang denen Hauptdolomit vor der Broccatello-Überlagerung horstartig emporgehoben wurde. Solche Störungen sind jedoch nirgends eindeutig zu fassen, wegen der Lückenhaftigkeit der Aufschlüsse.

c) Die diagonale Verwerfung von Besazio–Tremona.

Sie ist NE Besazio gut aufgeschlossen: sie setzt Broccatello und Rhät scharf gegeneinander ab. Bis fast Tremona wird sie durch Moräne verdeckt. Zwischen S. Agata und Tremona ist sie auf kurzer Strecke wieder sichtbar und dokumentiert durch die Verschiedenart ihrer beiden Flügel ihr wechselvolles paläotektonisches und alpines Schicksal (Fig. 38). Der W-Flügel weist über Hauptdolomit eine geringmächtige Serie aus Rhät, Broccatello, Kieselkalk und Domérien-Mergelkalk auf. Der E-Flügel enthält 70 m Rhät und etwa auf gleicher Mächtigkeit aufgeschlossenen Broccatello. Kieselkalk, Besazio-Kalk und Domérien-Mergelkalk treten zwischen S. Agata und Ronco Vassalli nirgends zutage. Gleichwohl muss angenommen werden, dass Besazio-Kalk und Domérien-Mergelkalk auch in dieser

Teilscholle vertreten sind oder waren, wie häufige Vorkommen in Gängen im Broccatello, in den Steinbrüchen von Besazio nahelegen (vgl. SENN, op. cit., p. 579/580).

Eine erste tektonische Phase im oberen Rhät führte zu einer relativen Absenkung des E-Flügels um ca. 60 m mit anschliessender Peneplainisierung, wobei das Rhät des W-Flügels auf ca. 10 m Mächtigkeit reduziert wurde. Analoge Vorgänge dürften sich am Ende der Broccatello-Sedimentation (möglicherweise im oberen Sinémurien bis unteren Lotharingen) eingestellt haben. Für die weitere Entwicklung fehlen eindeutige Hinweise, wegen mangelhaften Aufschlussverhältnissen. Doch kann angenommen werden, dass im unteren Mittellias eine Absenkung des Westflügels stattfand, die hier zu Kieselkalk-Sedimentation führte, während der E-Flügel im Bereich der Besazio-Kalk-Fazies verblieb; denn in seiner südwestlichen Fortsetzung, unmittelbar E Besazio, findet sich Besaziokalk in allerdings gestörtem Kontakt mit Broccatello. Im oberen Domérien mag es zu einem gewissen Ausgleich des Reliefs und beidseitiger Mergelkalk-Sedimentation gekommen sein. Eine Alternative für die Entwicklung zwischen dem Dach des Broccatello und der beidseitigen Mergelkalk-Sedimentation wird später noch erläutert werden.

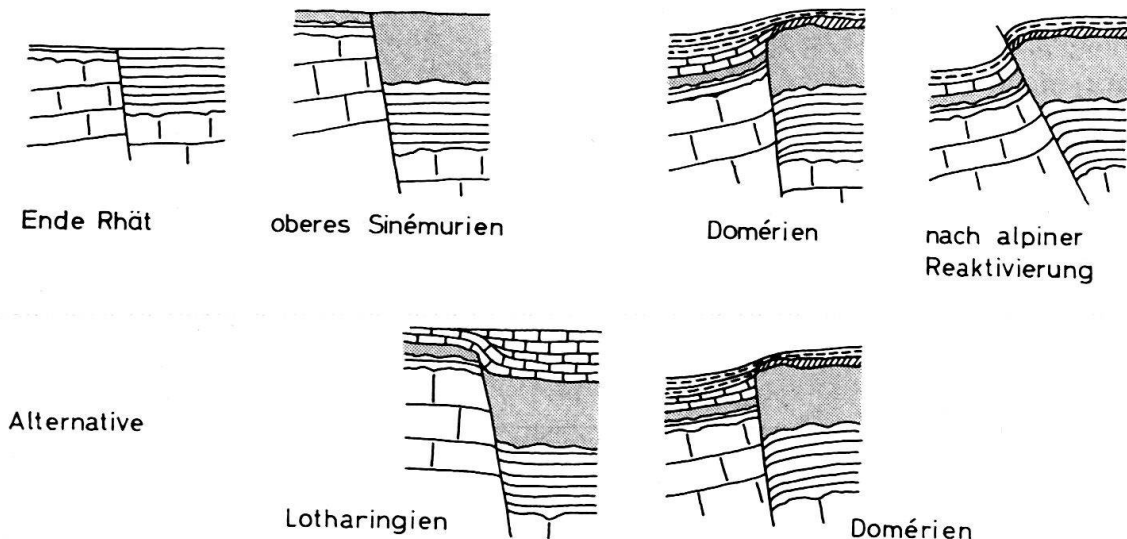


Fig. 38. Paläotektonische Entwicklung und alpine Reaktivierung der diagonalen Verwerfung Besazio-Tremona, NW Sant'Agata. Die Darstellungen für das Domérien unterscheiden sich lediglich durch die Heteropie Besazio-Kalk/obere Kieselkal-Anteile (oben) bzw. Besazio-Kalk/basale Domérien-Mergelkalke (unten). Gleiche Signaturen wie auf Taf. II.

Die Linie wurde offenbar bei der alpinen Faltung reaktiviert, wobei sich im W-Flügel eine enge Synklinale mit steilem westlichem Axialgefälle und Domérien-Mergelkalk im Muldenkern bildete und der E-Flügel als steil stehender N-Schenkel entlang der steil nach E einfallenden Verwerfung teils leicht aufgeschoben, teils transversal leicht nach NE verschoben wurde. Dabei wurde vor allem der N-Schenkel der Synklinale im W-Flügel durch Quetschbewegung stark beansprucht (zerbrochener Kieselkalk im kleinen Aufschluss hinter dem südlichsten Haus von Tremona).

Dies steht im Widerspruch zur Auffassung SENNS (op. cit., Taf. XX, XXII), der aus dem ganzen Hügel von S. Agata eine Synklinale macht, mit Kieselkalk und

Domérien im Kern. Zur Kartierung von Kieselkalk nördlich der Kirche mag er durch grosse Schichtplatten und Blöcke von Kieselkalk verleitet worden sein, die sich hier häufig, neben Hauptdolomit und Porphyrit, als Erratiker in der Moräne finden.

Die besprochene Linie, die um Tremona wiederum durch Moräne verdeckt wird, setzt sich nördlich Ronco Vassalli in ein System von Spalten fort, die etwa m-breit von intrusivem Broccatello erfüllt sind. Ihr Schicksal war hier offenbar nicht mehr so komplex wie bei S. Agata. Die Spalten sind am besten sichtbar im Wald, 50 m NW Ronco Vassalli, wo der Hauptdolomit gegen S eine steile Böschung bildet. 100 m NE dieser Stelle werden die Spalten von der Verwerfung Fatt-Castello scharf abgeschnitten.

4. Die Zone Barozzo-Cantine di Tremona

Der südwestliche Viertel dieser Zone wird von einer keilförmigen, am nördlichen Ende ca. 200 m breiten Scholle aus Hauptdolomit eingenommen. Sie steht tektonisch in einer gewissen Kontinuität zur westlich benachbarten Scholle (zwischen dem Friedhof von Tremona und der Verwerfung Fatt-Castello). Beide Elemente weisen an ihrem N-Rand geringmächtiges, von Broccatello überlagertes Rhät auf. An diesen Stellen steht der N-Schenkel der Barozzo-Antiklinale steil bis überkippt, während er sich in benachbarten Schollen anders verhält oder transversal verschoben ist.

Das südöstliche Viertel ist stark von Verwerfungen und Spalten mit intrusivem Broccatello beansprucht. Die Verwerfungen im Hauptdolomit sind schwer zu fassen, da sie morphologisch kaum je in Erscheinung treten und fast nur in dichtem Buschwald aufgeschlossen sind. Sie weisen manchmal Breccien auf, die Hauptdolomit-Trümmer in gelber, dolomitischer, zerreiblicher Grundmasse enthalten. Die Brüche äussern sich auch oft durch Schleppung des Hauptdolomits.

Dieser Teilabschnitt zeichnet sich auch durch weitverbreitete HD/Rhät-Breccien aus. Ihre Begrenzung im Liegenden ist ziemlich unscharf – ein Übergang in calcitisch-spätig und dolomitisch durchaderte und schliesslich normale, zusammenhängende Hauptdolomit-Partien –, verläuft diskordant zum Schichtverband des Hauptdolomits und wurde auf unserer Karte $\pm$ arbiträr eingezeichnet. Die Breccien werden im SE von Kalken und Dolomiten des Rhät überlagert, diese ihrerseits diskordant von Broccatello und Kieselkalk. Das Streichen nimmt hier vorwiegend WNW-Richtung, unterscheidet sich also deutlich von der Achsenrichtung der Barozzo-Antiklinale. Dieses Verhalten lässt sich möglicherweise auf paläotektonisch bedingte Schollenkipfung nach SSW zurückführen. Diese ihrerseits mag zusammen mit einer gleichgerichteten Flexur für das Auskeilen des Broccatello und die direkte Auflagerung des Kieselkalkes auf Rhät verantwortlich sein.

Nach N durchschlägt der Broccatello in mehreren, bis zu 30 m breiten Intrusions-Spalten Rhät und HD/Rhät-Breccie. Die östlichste dieser Spalten wurde von SENN (op. cit., p. 582) als Brandungshohlkehle aufgefasst.

In der nördlichen Hälfte der Zone maskiert Kieselkalk weitgehend die paläotektonischen Verhältnisse im Liegenden. In den beiden Schenkeln der breiten,

seichten Synklinale (Synklinale von Tremona nach SENN, op. cit., Fig. 7), die in diesem Abschnitt die alpin-tektonische Überprägung mit kennzeichnet, ist das Liegendes des Kieselkalkes gut aufgeschlossen, doch sind seine paläotektonischen Strukturen in NS-Richtung kaum korrelierbar.

Das Liegende des Kieselkalkes im Süden, zwischen P. 548, Nava und P. 519 (E Ligonago), zeigt zunächst im W die bereits erwähnte breite Scholle mit geringmächtigem Rhät (ca. 5 m) und Broccatello (10–20 m), die saiger bis überkippt stehen. Nach N anschliessend folgt eine enge Synklinale im Kieselkalk und hierauf, in einem sekundären Gewölbchen aufsteigend, erneut Broccatello.

Im E folgt, in einem engen, keilartigen Graben abgesenkt, etwa 50 m mächtiges Rhät (vgl. p. 583), eine Synklinale bildend, mit reliktischem Broccatello im Kern, Es wird im N direkt von Kieselkalk überlagert. Daran schliesst sich im E eine Scholle mit geringmächtigen, nach W auskeilendem Rhät, diskordant überdeckt von mächtigem Broccatello. Die Störungen, die die beiden zuletzt angeführten Elemente nach W begrenzen, werden vom Kieselkalk eingedeckt. Der Kontakt Broccatello/Rhät entspricht einer Erosionslücke, einer alten, durch spätere Tektonik versetzten Peneplain. Der Kontakt des Kieselkalkes zur Unterlage entspricht in der westlichen Scholle ebenfalls einer Schichtlücke, möglicherweise subaerischer Entstehung (kleine Rhät-Komponenten und aufgearbeitete Limonit-Krusten in den Basalen Kieselkalke, vgl. p. 593). In der östlichen Scholle mögen günstige Subsidenzbedingungen die Broccatello-Sedimentation begünstigt haben. In ihrem Dach, im unteren Lotharingen, erfolgte ein Umschlag zu stark verlangsamer Sedimentation (Häufung von Cephalopoden mit glaukonitischen Rinden, vgl. p. 599).

Diese beiden Schollen wurden in der alpinen Faltungsphase entlang ihrer westlichen, bzw. östlichen Grenzverwerfung, als starre, relativ kompetente Blöcke transversal nach N verschoben, wobei das Rhät der westlichen Scholle in die Kieselkalke eingepresst wurde.

Die diskordante Überlagerung des paläotektonisch angelegten Schollenmosaiks durch Kieselkalk erfolgte offenbar durch Absenkung der ganzen Zone entlang einer oder mehrerer Verwerfungen. Dabei verursachten Schollenkipfung und zeitliche wie räumliche Mehrphasigkeit der tektonischen Vorgänge lokale Heteropien (belegt im Dach des Broccatello zwischen Ligonago und Cantine di sotto, vgl. p. 599). Ausdruck dieser Mehrphasigkeit stellt der schmale, keilförmige Graben mit weit eingesunkenem Kieselkalk am E-Ende von Ligonago dar. Seine östliche Grenzverwerfung setzt sich nach N in den Kieselkalk fort, sie wurde offensichtlich als Transversalverschiebung alpin reaktiviert. Sie ist in der Bachrunse 50 m NNW Ligonago aufgeschlossen und manifestiert sich überdies in stark voneinander abweichendem Fallen und Streichen in den Flügeln.

Die östlich anschliessende schmale Scholle wurde gegenüber dem westlichen Flügel stark nach N verschoben, wobei die südlichen Partien ihres Kieselkalkes zu einer engen Synklinale gepresst wurden. Das Liegende (um P. 519) zeigt auffällige Diskordanz zwischen Broccatello und Rhät.

Als östliche Begrenzung der Kieselkalk-Synklinale folgt schliesslich talwärts eine schmale, komplexe, horstartige Scholle, an deren NE-Ecke Hauptdolomit in einer nach S auskeilenden Teilscholle nochmals herausgehoben erscheint (die

nördlichen Teile sind mit der Mitra del Vescovo nach N versackt). Die Achse der Kieselkalk-Synklinale findet in dieser «östlichen Grenzschole» keine Fortsetzung, das Einfallen erfolgt hier ziemlich nach SSE. Rhät, Macchia vecchia und Broccatello zeigen in den südlichen Teilen dieser Scholle extrem diskordante, «verzahnte» Lagerungsverhältnisse. Sie könnten mit alten (WNW-streichenden?) Querstörungen in Beziehung stehen. Es ist denkbar, dass diese Querstörungen unter dem Kieselkalk hindurch mit den NW-streichenden Linien kommunizieren, die das Macchia vecchia-Vorkommen SE Castello teilweise abgrenzen. Entlang dieser Verbindungslinie, die der Richtung des Sackungsabrisses SE Castello, der Sackungsspalten bei den Cantine di sotto und um die Mitra del Vescovo entspricht, zeigen sich im Kieselkalk, vor allem zwischen Fornetto und Cantine di sotto, häufig Sackungserscheinungen (Spalten und Löcher).

Die Macchia vecchia-Zone E und SE Castello fällt mit dem Interferenzfeld NW, NNW und NNE gerichteter Linien zusammen. Ihre Grundmasse scheint im wesentlichen nur aus einer Phase zu bestehen. Demnach mag eine einzige Tektonische Phase, etwa Absenkung der nordöstlichsten Teile der Zone Barozzo-Cantine di Tremona entlang der Linie Fornetto-Castello, bei gleichzeitiger Beanspruchung dieser Linie (Bruchschärung) durch Zerrbewegungen, zur Bildung der Macchia vecchia geführt haben, durch Einsturz der ruptuell beanspruchten Hauptdolomit-Anteile und gleichzeitiger Broccatello-Intrusion. Das Ereignis mag etwa zeitlich mit dem Dach des Broccatello (mittleres bis oberes Sinémurien) zusammenfallen: N der Cantine di sopra, um die steil abfallende Felsterrasse, findet sich Broccatello mit groben Hauptdolomit-Trümmern und kleineren splittrigen Hornstein-Einschlüssen. Er dürfte den Dachpartien des Broccatello bei Cantine di sotto entsprechen.

Die auf p. 593 besprochenen Pseudokonglomerate paläotektonischer Entstehung an der Basis des Kieselkalkes könnten mit einer der oben erwähnten Absenkungsphasen der Zone Barozzo-Cantine zusammenhängen. Es ist wahrscheinlich dass diese entlang der Linie Besazio-Tremona erfolgte. Dafür bestehen folgende Hinweise: die nordwestliche Begrenzung des Kieselkalkes zwischen Cantine di sopra und Castello verläuft auffällig in der Fortsetzung der Linie Besazio-Tremona. Das Streichen des Kieselkalkes erfolgt hier parallel dazu, schief zur Achsenrichtung der Synklinale von Tremona. Dies könnte auf die Anlage einer Flexur entlang dieser Linie während der Kieselkalk-Sedimentation zurückgeführt werden. Diese Deutung würde auch dem geringmächtigen, isolierten Kieselkalk-Vorkommen S Tremona gerecht werden. Die Linie Besazio-Tremona hätte hier mit ihrem Flexurcharakter vielleicht auch die Rolle einer heteropischen Grenze übernommen.

Durch eine Heraushebung der Teilscholle Cave di Besazio-S. Agata-Ronco Vassalli, möglicherweise an der Grenze Lotharingien/Pliensbachien, wäre der Kieselkalk dieser Scholle teilweise oder ganz abgetragen worden.

Auf Fig. 38 wurde diese Deutung als Alternative dargestellt.

In den Sackungsspalten E Cantine di sotto taucht in einer NNW-gerichteten Störungszone inmitten von mächtigem Broccatello ein schmaler Rhäthorst auf. Damit sind starke Diskordanzen und grosse, im Broccatello eingebettete Rhätblöcke assoziiert.

Im E schliesst hier eine Scholle mit der bereits im stratigraphischen Teil (p. 593) erwähnten Winkeldiskordanz zwischen Rhät und Broccatello an, offenbar verursacht durch Kippung der Scholle nach S und Peneplainisierung vor der Broccatello-Sedimentation.

Die nächstöstliche Scholle zeigt Konkordanz und ziemlich flaches S-Fallen der Serie Rhät–Broccatello–Kieselkalk.

AUSBlick

In der Einleitung zum stratigraphischen Teil wurde bereits eine Zusammenfassung unserer wichtigsten Resultate gegeben, auf die an dieser Stelle verwiesen sei.

I. ANGESCHNITTENE PROBLEMKREISE

Wir haben in unserer Arbeit bewusst einige Problemkreise lediglich angeschnitten und hoffen, dass spätere Untersuchungen weiteres Licht auf dieses kleine, faszinierende Gebiet werfen werden:

1. Sedimentpetrographische und mineralogische Untersuchungen an detritischem Quarz, Feldspäten, Glimmer, Glaukonit (mit Rückschlüssen auf Ökologie), Limonit und Mangan-Oxyd.

2. Gefügekundliches Studium des Broccatello: Mikrofazies, Feinschichtung?, räumliche Verteilung der Eisenoxyd-Pigmente.

3. Gefügekundliche Untersuchungen (vor allem mit Dünnschliffen) im Hinblick auf den Mechanismus der karbonatischen Intrusionen und die Kleintektonik.

4. Gewisse paläotektonische Verwerfungen setzen sich offenbar tief ins Liegende des Hauptdolomits fort, in einem Fall nachweislich: die Verwerfung Besazio–Gaggiolo ist in der Kalkschieferzone im Dach des Ladinien, im Gaggiolotal W Meride (Val Mara), zwischen 717111/083225 und 716990/083490, erneut zu fassen. Der W-Flügel ist gegenüber dem östlichen um ca. 17 m abgesenkt.

Eine genaue Kartierung und Neuuntersuchung der Raibler-Schichten und des Daches des Ladinien – meistens in isolierten Aufschlüssen – könnten zum Nachweis weiterer solcher, möglicherweise im oberen Norien oder im Rhät angelegter Verwerfungen führen. Vor allem das Studium der Raibler-Schichten, besonders ihres Daches, könnte vielleicht unsere Ansicht bestätigen, dass Schweregleitung der Hauptdolomitschollen auf der Raibler-Unterlage, im Gefolge von Zerrbewegungen, eine wesentliche Rolle im Mechanismus der liasischen Intrusionen und der Macchia vecchia spielten.

II. INNERHALB EINES WEITEREN REGIONALEN RAHMENS GÜLTIGE ASPEKTE

Aus gewissen Resultaten unserer Untersuchungen ergeben sich Aspekte, die wohl in einem weiteren regionalen Rahmen Gültigkeit erlangen könnten, ungeachtet des Sonderfalles, den unser Gebiet im allgemeinen darstellt.

A. Verfolgung der Auswirkungen syngenetischer Tektonik nach W und E

Die Verfolgung der Auswirkungen syngenetischer Tektonik nach W und E, bis jenseits des Langensees und bis zu den Bergamasker Alpen, in Verbindung