BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE
ABHANDLUNGEN · NEUE FOLGE, HEFT 136

JOHANN BODECHTEL

Photogeologisch-tektonische Untersuchungen in der südlichen Toskana und in Umbrien

Mit 2 Abbildungen, 1 Profiltafel und 20 Kartenbeilagen

MÜNCHEN 1969
VERLAG DER BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
IN KOMMISSION BEI DER C.H.BECK'SCHEN VERLAGSBUCHHANDLUNG MÜNCHEN

Eingereicht im Juli 1968

Als Habilitationsschrift auf Empfehlung der Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität München gedruckt mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft

Druck: Gebr. Parcus KG., München

Printed in Germany

ZUSAMMENFASSUNG

Der toskanische Apennin zeigt einen großräumigen, ostvergenten Faltenbau mit intensiver Schuppentendenz zwischen faltungskompetenten und -inkompetenten Serien. Mächtige kompetente Serien wurden durch eine WSW-ENE gerichtete Einengung sattelartig aufgewölbt und in den Scheitelzonen verschuppt, so daß heute in der Toskana durch junge, nichtgefaltete Sedimente vorherrschend die Westflügel dieser Sattelstrukturen als westtauchende Schollen durchspießen. Es zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit der Dimensionen der einzelnen Strukturen von der Mächtigkeit der kompetenten Serien. Der Achsenplan ist einheitlich für die gesamte Toskana mit einer vorherrschenden NNW-SSE-Richtung und einer untergeordneten SW-NE-Richtung.

Jünger als die Faltung ist eine Bruchtektonik mit Blattverschiebungen in ac-Richtung und horstartige Heraushebungen in bc-Richtung, die eindeutig auf den den Hauptfaltenachsen zuzuordnenden Kluftsystemen neu belebt wird. Diese Bruchtektonik war bis in subrezente Zeit wirksam, was die diesen Richtungen aufsitzenden Vulkane beweisen.

SUMMARY

The fold-tectonic of the Tuscan Apennines shows eastward inclination and intensively imbricated structure between competent and incompetent series. Competent series of great thickness were vaulted by WSW-ENE directed compression and imbricated in the crest zones. As a result, predominantly the westward dipping west legs of these vaulted, anticlinical structures protrude through the young, unfolded Tuscan sediments. One may observe that the dimensions of the individual structures are dependent upon the thickness of the competent series. The axial plan, predominantly a NNW-SSE direction and subordinately a SW-NE direction, is uniform for the whole Tuscany.

The fault-tectonic, with strike-slip faults in the ac-direction and horst-like uplifts in the bc-direction, is younger than the fold-tectonic. These faults are reactivated joints, definitely belonging to the joint-sets of the mayor fold axes. These faults have been active until subrecent time, verified by the volcanoes, which are situated along these directions.

INHALT

1. Einleitung 9

2. Lage der Arbeitsgebiete 9

3. Arbeitsunterlagen 11

4. Gang der Untersuchungen 12

5. Angewendete Methode in der photogeologischen Auswertung 12

6. Schichtfolge 14

6.1 Stratigraphischer Überblick 14

6.2 Photogeologische Schlüsseleinheiten 15

7. Besprechung älterer Arbeiten 16

8. Ergebnisse der photogeologisch-tektonischen Untersuchungen in den einzelnen Teilbereichen 17

8.1 Siena (Nr. 120)
Der Höhenzug Monticiano-Roccastrada und die Umgebung von Murlo 17

8.11 Photogeologische Schlüsseleinheiten 17

8.12 Faltung 18

8.13 Klüfte und Störungen 19

8.2 Montepulciano (Nr. 121)
Das Gebiet zwischen Rapolano und Chianciano Bagni 20

8.21 Photogeologische Schlüsseleinheiten 20

8.22 Faltung 20

8.23 Klüfte und Störungen 21

8.3 Santa Fiora (Nr. 129)
Die Umgebung des Monte Amiata und der Monte Cetona 22

8.31 Photogeologische Schlüsseleinheiten 22

8.32 Faltung 23

8.33 Klüfte und Störungen 25

8.4 Orbetello/Tuscania (Nr. 135/136)
Das Gebiet zwischen Capalbio und Manciano 26

8.41 Photogeologische Schlüsseleinheiten 26

8.42 Faltung 27

8.43 Klüfte und Störungen 28

8.5 Viterbo/Terni (Nr. 137, 138)
Das Gebiet südlich Terni zwischen Tiber- und Vellinotal 28

8.51 Photogeologische Schlüsseleinheiten 28

8.52 Faltung 29

8.53 Klüfte und Störungen 30

9. Tektonische Zusammenhänge im toskanisch-umbrischen Apennin 31

10. Schlußfolgerungen 33

11. Literatur 35

VORWORT

Die Anregung zu vorliegender Arbeit bekam ich bei lagerstättenkundlichen Arbeiten in der Toskana, die ich teilweise unter Verwendung von Luftbildern ausführte. Es zeigte sich, daß das intensiv geprägte Relief im Apennin für eine photogeologisch-tektonische Luftbildinterpretation ausgezeichnete Möglichkeiten bietet.

Die Geländearbeiten wurden während mehrerer Aufenthalte in den Jahren 1966 und 1967 durchgeführt. Im Anschluß daran habe ich im Institut für allgemeine und angewandte Geologie und Mineralogie der Universität München die Luftbilder der im Gelände bearbeiteten Gebiete in der südlichen Toskana und in Umbrien ausgewertet.

An dieser Stelle möchte ich besonders meinem sehr verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr.-Ing. A. Maucher, danken, der stets meine wissenschaftlichen Interessen förderte und mir die Durchführung dieser Arbeit im Rahmen seines Institutes ermöglichte.

Weiterhin danke ich den Herren des „Servizio Geologico d'Italia", insbesondere Herrn Direktor Prof. Dr.-Ing. A. Moretti und Herrn Dr.-Ing. S. Motta, die mir gestatteten, in ihrer photogeologischen Abteilung einen Teil der Luftbilder auszuwerten.

Mein Dank gilt auch dem Istituto Geografico Militare in Florenz, das mir gestattete die gesamten Luftbilder Mittelitaliens durchzumustern und mir die gewünschten Bildserien zur Verfügung stellte.

Die Herren Dipl.-Geol. G. Papadeas und Dr. W. Schindlmayr waren mir dankenswerter Weise beim Auszählen der tektonischen Diagramme behilflich.

Mein besonderer Dank gilt der „Deutschen Forschungsgemeinschaft", die mir durch eine Beihilfe die auftretenden Kosten tragen half.

1. EINLEITUNG

Die ausgeprägte Morphologie des Apennin bietet der Luftbildinterpretation ausgezeichnete Möglichkeiten. Auffällige fazielle Unterschiede in den verschiedenen großgeologischen Einheiten und Serien schufen ein stark gegliedertes Relief. Die Spuren der jungen teils noch subrezent wirksamen Tektonik sind durch Erosion kaum verwischt und auf den Luftbildern ausgezeichnet zu verfolgen. Letztlich begünstigt auch die mediterrane Vegetation eine photogeologische Auswertung bis ins Detail. Einmal ist es der nicht sehr dichte oder alles verdeckende Pflanzenwuchs, zum anderen die oft von Bank zu Bank unterschiedliche, vom Gestein abhängige Vegetation, die ein genaues Verfolgen der Schichtlagerung gewährleistet.

Die Zusammenfassung von Luftbildauswertung und Geländearbeit sollte großtektonische Fragen klären. Die photogeologisch-tektonische Interpretation basierte nicht nur auf der allgemein üblichen qualitativen Auswertung der Luftbilder, sondern es wurden unter Anwendung photogrammetrischer Methoden in einem photogrammetrischen Auswertegerät quantitative Messungen durchgeführt.

In der südlichen Toskana wurden die Gebiete ausgewählt, in denen ältere Kalk- und Quarzitserien durch junge vorherrschend mergelig tonige Sedimente spießen. Hier wurde untersucht, ob die meist tektonischen Kontakte dieser heterogenen Serien auf eine Deckentektonik, wie sie in der bisherigen Literatur verfochten wird, oder nur auf intensive disharmonische Faltung zwischen inkompetenten und kompetenten Schichtpaketen zurückzuführen sind. Falten und Schuppen wurden im Luftbild auskartiert und zu dem in der Morphologie hervortretenden generellen NNW-SSE-Streichen der Höhenzüge in Bezug gesetzt. Die Zusammenhänge zwischen Faltentektonik und jungen Störungen wurden bestimmt.

Dem bearbeiteten Gebiet in der südlichen Toskana wurde ein Bereich in Umbrien gegenübergestellt, in dem die toskanische Richtung mit NNW-SSE-Streichen abgelöst wird von den N-S-streichenden Zügen des umbrischen Bogens, der dann gegen Osten längs einer markanten Linie den NW-SE-streichenden Strukturen der Abruzzen aufgeschoben wurde.

Die Untersuchungen sollten weiterhin Aussagen über die tektonischen Zusammenhänge und Beziehungen der einzelnen isolierten Aufbrüche zueinander erbringen. Hier ist es gerade die Luftbildinterpretation, die losgelöst von der begrenzten Perspektive der reinen Geländearbeit eine ausgezeichnete Übersicht schafft, ohne daß dabei strukturelle Details verloren gehen.

2. LAGE DER ARBEITSGEBIETE

Das toskanische Gebiet erstreckt sich von Siena bis zu dem ausgedehnten Vulkangebiet nördlich von Rom über eine Länge von 100 km und eine Breite von 60 km. In ihm wurden 5 Teilbereiche, die jeweils an Aufbrüche des älteren Untergrundes gebunden sind, untersucht. Östlich der Vulkanberge nördlich von Rom wurde in Umbrien südlich von Terni ein Bereich von 20 auf 30 km bearbeitet.

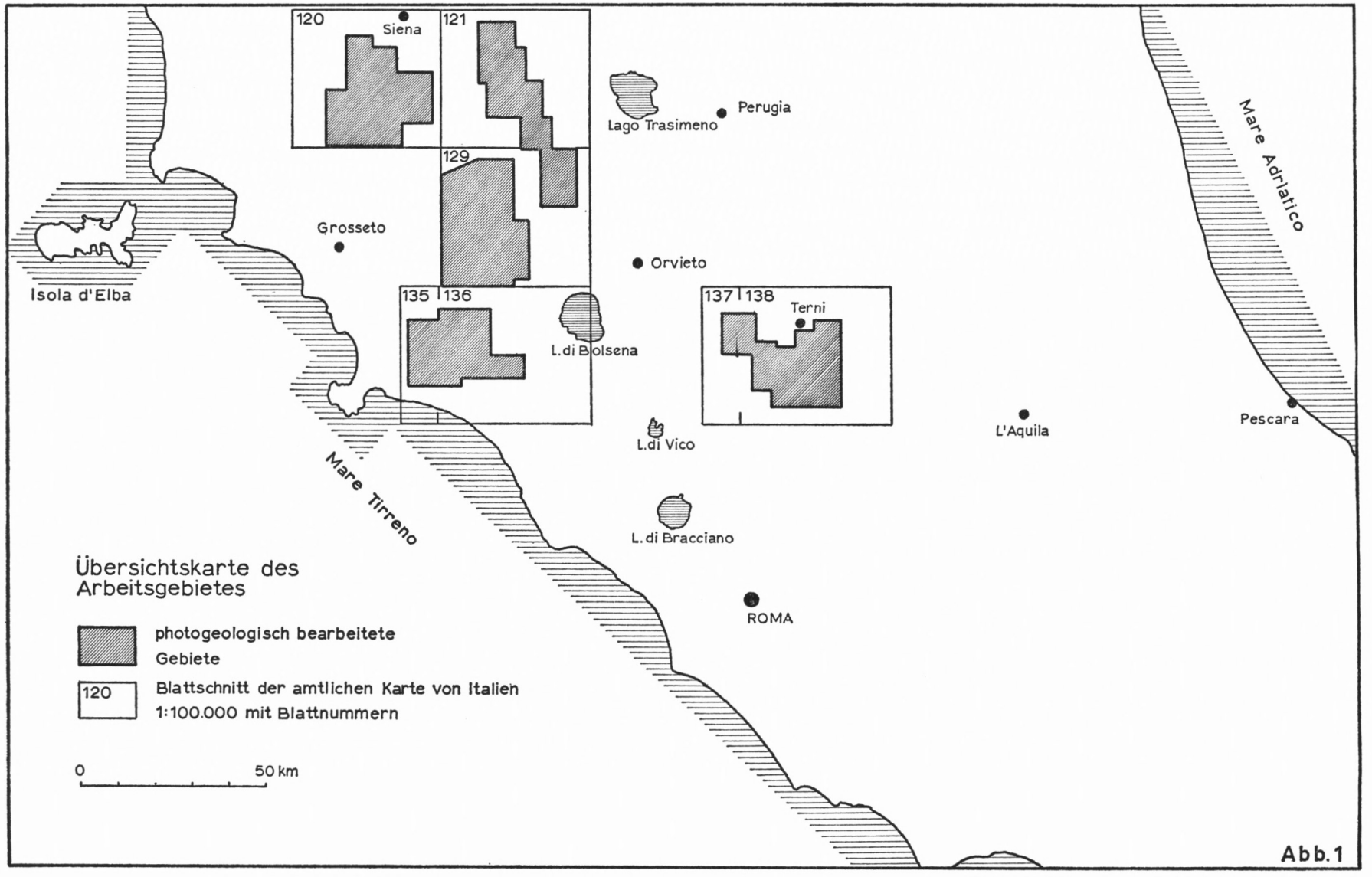

120
Siena
121
129
Grosseto
Isola d'Elba
135 136
L.di Bolsena
Orvieto
Lago Trasimeno
Perugia
137 138
Terni
L.di Vico
L. di Bracciano
ROMA
L'Aquila
Pescara
Mare Adriatico
Mare Tirreno
Übersichtskarte des Arbeitsgebietes
photogeologisch bearbeitete Gebiete
120
Blattschnitt der amtlichen Karte von Italien 1:100.000 mit Blattnummern
0
50 km

Abb. 1

Auf der beiliegenden Übersichtskarte (Abb. 1) sind die einzelnen Teilbereiche sowie die Blattschnitte der amtlichen italienischen Karte 1 : 100 000 eingetragen. Auf Blatt Siena Nr. 120 wurden die südliche Fortsetzung der Montagnola Senese, der Höhenzug von Monticiano/Roccastrada und das Gebiet von Murlo, auf dem östlich anschließenden Blatt Nr. 121 Montepulciano der stark gegliederte Höhenrücken zwischen Rapolano und Chianciano bearbeitet. Auf Blatt Nr. 129 S. Fiora sind es der Monte Amiata und südlich davon das Gebiet beidesreits des Fiora Flusses sowie im Osten der Monte Cetona, der in der südlichen Fortsetzung des Höhenzuges Rapolano-Chianciano liegt. Auf den südlich anschließenden topographischen Blättern 135 und 136 galt das Interesse dem Gebiet zwischen der Pianura di Albegna im Norden und den Ausläufern der Monti Vulsini im Süden. Östlich des hier 50 km breiten Vulkangebietes um den Lago di Bolsena wurden auf den Kartenblättern 137 und 138 die beiden nach Norden divergierenden Höhenzüge südlich und westlich von Terni photogeologisch ausgewertet. Der östlich Rieti anschließende Gebirgsstock des Monte Terminillo wurde zur Ergänzung in einigen Profilen begangen.

3. ARBEITSUNTERLAGEN

Als topographische Unterlagen dienten die amtlichen italienischen Karten 1 : 100 000. In diese Karten wurden dann auch die Interpretationsergebnisse übertragen, so daß sämtliche Kartenunterlagen in ihren Blattschnitten und ihrem Maßstab dieser Unterlage entsprechen.

Die eigentliche Auswertung und Einpassung der Luftbilder wurde auf den amtlichen topographischen Karten 1 : 25 000 durchgeführt.

Die photogeologische Auswertung erfolgte auf Schwarzweiß-Luftbildern des Istituto Geografico Militare (Florenz).

Für die Kartenblätter Nr. 120 und 121 lagen 5 West/Ost-Flugstreifen mit insgesamt 54 Luftbildern mit einer 50–60% Überlappung von Bild zu Bild vor. Die seitliche Überlappung der einzelnen Bildstreifen beträgt 15–20%. Die Bilder wurden August/September 1954 aus 5000 m Flughöhe aufgenommen. Sie haben einen durchschnittlichen Maßstab von 1 : 30 000. Das Bildformat ist 23 × 23 cm, die Brennweite 154,17 mm.

Die Bilder auf den Kartenblättern Nr. 129 und 135–138 wurden in Nord/Süd-Flugstreifen mit gleicher Überlappung im Oktober 1954 geflogen. Die Flughöhe beträgt 6000 m, dementsprechend ist der Luftbildmaßstab 1 : 33 000. Die verwendete Kamera hat eine Brennweite von 152,04 mm.

Im Bereich des Kartenblattes 129 wurden 51, in dem Bereich des Kartenblattes 135 und 136 = 21 und für das Kartenblatt 137/138 = 40 Luftbilder ausgewertet. Außer den insgesamt 166 bearbeiteten Luftbildern wurden weitere 70 Aufnahmen der angrenzenden Gebiete zum Vergleich und zu Ergänzungen herangezogen.

4. GANG DER UNTERSUCHUNGEN

Der Ablauf der Untersuchungen ist in 3 Phasen zu gliedern:
1. Übersichtsorientierung auf den Luftbildern, 2. Geländebegehung, 3. Auswertung der Luftbilder.

Zuerst wurden die Luftbilder mit einem einfachen Spiegelstereoskop durchgemustert. Markante strukturelle Daten und Zusammenhänge wurden vermerkt, um einen ersten Überblick zu gewinnen.

Die Geländebegehung erfolgte weitgehend nach den Gesichtspunkten, die sich aus dem Studium der Luftbilder ergaben. Im Luftbild wurden besonders günstige Punkte und Profillinien ausgewählt, die dann geländemäßig eingehend bearbeitet wurden. Durchgeführte tektonische Geländemessungen galten sowohl der generellen Schichtlagerung und den Meßprofilen durch Großstrukturen, wie auch der Aufnahme von Spezialfalten, Faltenachsen und Vergenzen. Daneben wurden alle Punkte und Bereiche, bei denen eine Deutung aus dem Luftbild allein nicht möglich war, im Felde untersucht.

Das Hauptgewicht der Arbeit liegt auf der anschließend durchgeführten detaillierten Auswertung der Luftbilder.

5. ANGEWENDETE METHODE IN DER PHOTOGEOLOGISCHEN AUSWERTUNG

Die Auswertung erfolgte unter einem photogrammetrischen Gerät, das es ermöglicht, die durch Kippung der Kamera aus der Senkrechten und durch zu große Höhenunterschiede entstehenden Verzerrungen zu korrigieren. Das verwandte Gerät ist ein Santoni Gallileo Stereomikrometer SMG 4, das für die Betrachtung die einzelnen Modelle vierfach vergrößert. Nach dem Einpassen der Bilder, wobei die oben erwähnten horizontalen und vertikalen Maßstabsverzerrungen korrigiert wurden, wurden die kartographischen Ergebnisse direkt in die einorientierten amtlichen Gradabteilungsblätter 1 : 25 000 mit Hilfe des im Gerät eingebauten Pantographen übertragen. Als Grundlage für die tektonische Kartierung wurden verschiedene photogeologisch eindeutig unterscheidbare Einheiten, die bestimmten stratigraphischen Serien entsprechen, umgrenzt.

Erkennbare Schichtköpfe wurden auskartiert und ihre Fallrichtung eingetragen. Die Schichtung ist im Luftbild einmal am unterschiedlichen Grauton und zum anderen durch Kanten und Knicke im Kleinrelief, die meist an Fazieswechsel gebunden sind, gut zu erkennen. Vegetationsunterschiede von Bank zu Bank bedeuteten in vielen Bereichen eine zusätzliche Hilfe. Dort, wo es die Stereobetrachtung erlaubte, wurde die räumliche Lage einzelner Flächen oder Schichtköpfe eingemessen. Hierbei wurde eine einfache trigonometrische Methode, bekannt als Dreipunktmethode, angewandt. Zwei Punkte auf derselben Schicht mit gleicher Höhe wurden photogrammetrisch bestimmt. Die Verbindung dieser beiden Punkte, in die Karte eingezeichnet, ergibt das Streichen, dessen Winkel mit Hilfe eines Winkelmessers abzulesen ist. Die Höhendifferenz zu einem dritten auf der gleichen Fläche jedoch höher oder tiefer gelegenen Punkt kann mit Hilfe eines Parallaxenrechners bestimmt werden. Die Entfernung zur Streichlinie wurde mit einer Meßlupe gemessen. Aus den erhaltenen Werten ist es möglich, unter Anwendung trigonometrischer Funktionen den Fallwinkel zu bestimmen. Für diese Bestimmung genügt ein Punkt-

abstand auf der Karte von einem Millimeter. Bis zu diesem Grenzwert sind ebenso zuverlässige Ergebnisse wie bei Geländemessungen zu erzielen. Je größer die Fläche, um so größer ist jedoch die Genauigkeit der Messung.

Neben Schichten, Falten und Aufschiebungen wurden tektonische „Lineamente"[1] auskartiert. Hierbei sind nur steilfallende und senkrechte Flächen erfaßt. Mittel- und flachfallende Klüfte oder Störungen zeigen im Luftbild keine typischen „Lineamente". Es sind auch wieder Geländestufen, Grautonunterschiede und besonders das Entwässerungsnetz, das ein Erfassen der Kluft- und Störungsrichtungen ermöglicht. Die Kartierung tektonischer „Lineamente" ist im Apennin besonders durch die starke Erosion und das intensiv gegliederte Relief begünstigt (MARCHESINI et al., 1963). Kleinste Erosionsrinnen folgen den durch die Klüftung vorgezeichneten Richtungen und lassen sich als „Lineament" oft über Kilometer verfolgen. Von der großen Zahl der kartierbaren „Lineamente" wurden nur solche als Störungen gekennzeichnet, bei denen im Luftbild oder Gelände ein eindeutiger horizontaler oder vertikaler Versatzbetrag beobachtet werden konnte. Dies schließt jedoch nicht aus, daß auch weitere auskartierte „Lineamente" Störungen repräsentieren können. Da, wie schon erwähnt, bei der Luftbildinterpretation nur steile tektonische Trennflächen erfaßt werden, konnte weitgehend auf ein Bestimmen des Einfallens verzichtet werden.

Die so gewonnene Interpretationskarte wurde mit Rücksicht auf die Größe der bearbeiteten Flächen photographisch auf 1 : 50000 verkleinert. Diese Verkleinerung wurde dann ins reine gezeichnet, und zwar wurden Klüfte und Störungen sowie Schichtköpfe und Falten auf getrennten Blättern dargestellt, um das Kartenbild nicht zu sehr zu verdichten und unübersichtlich zu gestalten. Die Interpretationskarten 1 : 50 000 wurden dann noch einmal verkleinert und in die amtlichen italienischen Karten 1 : 100 000 einprojeziert. Diese endgültigen Karten 1 : 100 000 enthalten nur einige wichtige topographische Daten zur Orientierung und die photogeologisch markanten stratigraphisch-geologischen Einheiten. So liegt das bearbeitete Gebiet einmal in je 5 Blättern für die Darstellung der Faltentektonik und andererseits in je 5 Blättern für die Darstellung der Klüfte und Störungen vor.

Die tektonischen Ergebnisse wurden statistisch ausgewertet und in Diagrammen dargestellt.

Die ss-Flächen und B-Achsen sind in Pol-Diagrammen für einzelne homogene Bereiche zusammengefaßt. Luftbild- und Geländemessungen wurden zusammen dargestellt, wobei jeweils mit der Reihenfolge der Buchstaben L = Luftbild und G = Gelände angedeutet wird, welche Messungen in den Diagrammen vorherrschen. Die Diagramme haben viel markantere Maxima als ähnliche Diagramme, die rein feldgeologisch aufgenommen wurden. Dies erklärt sich besonders daraus, daß im Luftbild nur die Hauptrichtungen und keine Streuwerte zu erkennen sind, wodurch bei gleichem Aussagewert die wichtigen Maxima viel deutlicher werden. Um ein Maß für die Anzahl der Messungen zu bekommen, wurde bei Schichtköpfen, die sich meist auf eine gewisse Strecke verfolgen lassen, für jeden cm Aufschluß in der Karte, entsprechend 250 m, eine Messung eingetragen.

Die tektonischen Trennflächen sind im polaren Netz als Richtungsrosen dargestellt. Die Bereiche für die einzelnen Diagramme wurden im Zusammenhang mit Faltung und

[1] Die im Luftbild erkennbaren Ausbißlinien tektonischer Trennflächen wurden in Anlehnung an englische und italienische Literatur (LATTMANN 1958, DESSAU 1959, MAFFI u. MARCHESINI 1964, BARBIER 1964 u. a.) „Lineamente" genannt. Der Begriff ist hierbei nicht auf großtektonische Lineamente im Sinne Stille's beschränkt, sondern umfaßt alle photogeologisch kartierbaren Linien, die durch den Schnitt tektonischer Trennflächen mit der Geländeoberfläche entstanden sind.

den auftretenden stratigraphischen Einheiten abgegrenzt. Um die verschiedenen Richtungen in den Diagrammen statistisch erfassen zu können, wurde den „Lineamenten" ein ihrer Länge entsprechender Wert gegeben. 1 cm Länge eines Lineaments auf der Interpretationskarte 1 : 25 000 wurde als eine Messung bewertet. So entsprechen 250 m Länge in der Natur einer Messung, beziehungsweise einer Zähleinheit im Diagramm. Zur Darstellung wurden die Streichrichtungen von 10 zu 10° zusammengefaßt. Dies läßt einmal die Maxima deutlicher hervortreten und zum anderen geht hier der geringe Fehler in der Bestimmung des Streichens bei nicht völlig saigeren Flächen nicht in das Diagramm ein.

6. SCHICHTFOLGE

6.1 STRATIGRAPHISCHER ÜBERBLICK

Eine durchlaufende, teilweise in verschiedene Faziesbereiche differenzierte Schichtfolge reicht vom Paläozoikum bis ins Altquartär. Den kristallinen Sockel bilden Phyllite und Quarzite, die von nachgewiesenem Karbon bis in die untere Trias reichen. Diese Serie wird unter dem Namen Verrucano zusammengefaßt.

Transgressiv folgt darüber eine in die mittlere und obere Trias gestellte Schichtfolge mit Kalken, Dolomiten und Rauhwacken (calcari cavernosi). An der Grenze gegen den Verrucano sind häufig Evaporite eingeschaltet.

Im unteren Lias sind massige Kalke (calcare massicco) mit einer Mächtigkeit von maximal 600 m entwickelt, die dann zum Hangenden in gebankte Kalke des mittleren und oberen Lias übergehen.

Etwa ab Dogger ist eine Aufteilung in einzelne, faziell unterschiedliche Sedimentationsräume zu erkennen.

In Umbrien, im Osten, kam es weiterhin zu Ablagerungen vorwiegend kalkiger Sedimente bis in die Oberkreide (MANFREDINI, 1966).

Hier folgen über dem „rosso ammonitico" des oberen Lias gebankte Kalke und Kieselkalke, in die erst im Malm Hornsteine und Radiolarite eingeschaltet sind.

Titon bis Oberkreide sind wieder vorherrschend kalkig-mergelig ausgebildet. Die Abfolge zum Hangenden ist: „majolica" = graue, 300 m mächtige, kompakte Kalke, regelmäßig geschichtet; „marne a Fucoide" = eine Kalkmergelwechsellagerung und darüber die „scaglia rossa" mit 500 m Mächtigkeit, eine meist rot gefärbte Kalkmergelwechselfolge.

Im Tertiär, in der sogenannten „scaglia cinera", wechsellagern Mergel, Tonmergel und Sandsteine.

In der Toskana sind bestimmte Schichtglieder parallel zur umbrischen Fazies entwickelt. Generell ist aber die Abfolge viel differenzierter und oft eine seitliche Verzahnung festzustellen, was darauf hindeutet, daß hier der Sedimentationsraum weitaus unruhiger war.

Der Dogger ist vorherrschend mergelig-tonig entwickelt. Vereinzelt sind Kalke eingeschaltet. Im Malm kam es zur Extrusion wechselnd mächtiger Ophiolithe, die von Radiolariten und Hornsteinen überlagert werden (BODECHTEL, 1963). Der Jura schließt ab mit einer unterschiedlich ausgebildeten und wechselnd mächtigen Kalk-Mergelserie.

Darüber folgen mächtige Flyschablagerungen in Kreide und Tertiär. Vorherrschend sind es tonig-mergelige, feinschichtige Sedimente mit geringmächtigen, kalkigen Einschaltun-

gen, die Serie der „argille scagliose". Nur lokal folgen direkt auf dem oberen Jura tertiäre, bunte Mergel und Kalke, die seitlich mit den „argille scagliose" verzahnen. Die über 2000 m mächtige Serie der „argille scagliose" ist fast fossilfrei und daher macht ihre Einstufung große Schwierigkeiten (BOCCALETTI u. SAGRI, 1964). Somit ist es zu erklären, daß z. B. die unter der Ophiolithserie auftretenden sehr ähnlichen Tonmergel mit Kalkeinschaltungen (Dogger) meist zu den „argille scagliose" gerechnet werden. Im oberen Teil der „argille scagliose" sind häufig Sandsteine in Flyschfazies eingeschaltet (JACOBACCI et al., 1967). Diese Flyschsandsteine (LOSACCO, 1958) bilden dann auch das Hangende der „argille scagliose". Die in der Literatur innerhalb der „argille scagliose" immer wieder erwähnten Ophiolithe (JACOBACCI et al., 1967; SIGNORINI et al., 1967) sind nie in stratigraphischem Kontakt anzutreffen und nach meinen Beobachtungen als mitgerissene, allochthone Schubspäne zu deuten. In vielen Aufschlüssen sind sie mit Malm-Hornsteinen vergesellschaftet, was ihr älteres Alter beweist.

Den Abschluß der Schichtfolge bilden miozäne bis pliozäne Sande, Tone und Mergel.

Im Pliozän kam es zur Intrusion saurer Magmen, so auf der Insel Elba, bei Gavorrano, Campiglia und in der Montagnola Senese, die um sich metamorphe Aureolen bildeten. Im Altquartär setzte die Förderung der weitverbreiteten sauren bis intermediären Vulkanite ein.

6.2 DIE PHOTOGEOLOGISCHEN SCHLÜSSELEINHEITEN

Photogeologisch wurde die sehr differenzierte Schichtfolge in sieben verschiedene Schlüsseleinheiten gegliedert. Die Untergliederung erfolgte einmal nach den aus den Luftbildern erkennbaren photogeologischen Charakteristika, wie Morphologie, Grauton des Photopapiers, Bewuchs, und zum anderen entsprechend ihrem Verhalten gegenüber der tektonischen Beanspruchung.

Die tiefste Einheit bilden die Quarzite und Phyllite des Permo-Karbon.

Die mächtigen Kalkserien des Mesozoikums wurden als nächste Einheit zusammengefaßt. Während sie im Bereich der toskanischen Fazies mit dem oberen Lias enden, repräsentiert diese Einheit in Umbrien die Folge des gesamten Mesozoikums.

Die Serie der „argille scagliose" ist bei ihrer weiten Verbreitung und ihren hervorstechenden morphologischen Merkmalen gesondert ausgegliedert.

Zusammengefaßt ist die gesamte Schichtfolge von den Ophiolithen des oberen Jura bis zu den Mergeln und Kalken des Alttertiär. Diese photogeologisch ungegliederte Einheit ist mit ihrer raschen Wechselfolge von kalkig, kieselig und mergeligen Serien durch ein intensiv gegliedertes Relief verwitterungsbeständiger und unbeständiger Abschnitte gekennzeichnet.

Gesondert ausgeschieden sind die im Luftbild leicht ansprechbaren Sandsteinfolgen des tertiären Flysch und die jungen Vulkanite.

Nicht getrennt wurden die ungefalteten Sedimente des Miozän-Pliozän und die quartären Bildungen.

Auf eine weitere Untergliederung wurde verzichtet, da diese photogeologischen Schlüsseleinheiten nicht eine vollständige Kartierung der Gesteine ersetzen sollen. Sie sind nur ein untergelegtes Raster, um die Form und den Verlauf der kartierten Strukturen in Abhängigkeit zum Gestein besser verständlich und deutlicher zu machen.

Das wichtigste Merkmal der vorgenommenen Unterteilung sind kompetentes und inkompetentes Verhalten der einzelnen stratigraphischen Einheiten gegenüber einer tektonischen Beanspruchung.

7. BESPRECHUNG ÄLTERER ARBEITEN

Es würde zu weit führen, einen erschöpfenden Überblick über die gesamte Literatur des mittleren Apennin zu geben. Die verschiedenen Ansichten bilden oft eine unübersehbare Menge von Widersprüchen. Es sollten im folgenden nur die wichtigsten Arbeiten, die sich mit der geotektonischen Entwicklung des Apennin befassen, behandelt werden.

STEIMANN (1907) stellte für den ligurisch-toskanischen Apennin erstmals eine Deckentheorie auf. Die Sedimente von Permokarbon bis in den oberen Lias wurden als Toskaniden bezeichnet, die vorwiegend tonig-mergelige Serie mit Ophiolithen, die mit dem oberen Jura beginnt, als Liguriden.

Die Theorie wurde ausgebaut und weiter untergliedert in verschiedene Teildecken, deren Bewegungsmechanismus als Unterschiebungstektonik mit der Verschluckungszone zwischen der Insel Elba und Korsika in der Arbeit von BEHRMANN (1958) erläutert und zusammengefaßt wird. BEHRMANN (1958) betonte als erster das Wandern der Faltung der Apenninbögen von West nach Ost in der Zeit vom Eozän bis ins Quartär.

Die Arbeiten von RICHTER (1963), REUTTER (1968) und WUNDERLICH (1963, 1965, 1966) basieren zwar auf den Grundlagen von STEINMANN (1907), GORTANI (1956) und BEHRMANN (1958), aber den Decken wird nicht mehr die große Bedeutung zugesprochen. Überschiebungsbeträge von nur mehr 30–50 km werden angenommen und ein Teil der Aufschiebungen im Ligurikum als Deckschollen durch Gleitung kompetenter Schuppen über inkompetente Serien erklärt. Jedoch berühren diese Arbeiten kaum den Bereich der mittleren und südlichen Toskana. Sie beschränken sich auf den eigentlichen Apenninbogen.

Für die Toskana haben nun TREVISAN (1963), ELTER et al. (1963) und GIANNINI et al. (1962) eine Deckentheorie aufgestellt. Die Einheiten der früheren Toskaniden-Decken (BEHRMANN, 1958) werden als autochthone „seria toscana" zusammengefaßt. Sie beinhaltet die Schichtfolge von Permokarbon bis in den Sandsteinflysch des Tertiär. Über diese autochthone Serie, die in Fenstern zu Tage tritt, ist die allochthone Ophiolithserie oder „argille scagliose"-Serie in West-Ostrichtung als Decke geschoben. Diese allochthone Serie, die man ebenso wie die Liguriden des Nordapennin in verschiedene Teildecken zu untergliedern versucht, besteht vorherrschend aus „argille scagliose" mit den Ophiolithen und Hornsteinen an der Basis und Flyschsandsteinen im Hangenden. Als Hauptbeweis gelten die ausschließlich tektonischen Kontakte mit den Gesteinen des älteren Untergrundes.

Eine andere Erklärung findet MERLA (1951); er prägte den Begriff der „rughe tettoniche". Es sind durch Einengungen im Untergrund verursachte Hebungszonen, die sich seit dem Oligozän kontinuierlich nach Osten verlagern und so ein Abgleiten und Verschuppen der Serien bevorzugt an ihrer Ostflanke, also in Bewegungsrichtung hervorrufen.

MANFREDINI (1963) zeigt auch wieder zeitlich unterschiedlichen von West nach Ost fortschreitenden Ablauf der Bildung der einzelnen Faltenbögen des Apennin.

8. ERGEBNISSE DER PHOTOGEOLOGISCH-TEKTONISCHEN UNTERSUCHUNGEN IN DEN EINZELNEN TEILBEREICHEN

8.1 SIENA (NR. 120)
DER HÖHENZUG MONTICIANO-ROCCASTRADA UND DIE UMGEBUNG VON MURLO

Im Bereich des Kartenblattes Siena wurden nicht alle Aufbrüche des älteren Untergrundes untersucht. Die im Westen und Norden vorkommenden mesozoischen Kalkkomplexe sind Teile von Großstrukturen, die eine Ausweitung auf die anschließenden Kartenblätter notwendig gemacht hätten. Die photogeologische Auswertung konzentrierte sich hier auf die NS-streichende Aufwölbung, in deren zentralem Teil Gesteine des paläozoischen Untergrundes einschließlich Karbon (MORTALI, 1967) angeschnitten sind. Hier galten die Untersuchungen einmal den Strukturen innerhalb des Paläozoikums sowie den tektonischen Zusammenhängen mit den randlich sie begleitenden jüngeren Serien.

8.11 Photogeologische Schlüsseleinheiten

Das vorherrschende Gestein dieses Gebietes bilden die Schiefer und Quarzite des Verrucano, die sich von der Gola di Rosia im Norden bis zum Südrand des Kartenblattes verfolgen lassen. Dieser paläozoische Untergrund tritt besonders durch seine Morphologie und die Art seines Bewuchses im Luftbild deutlich hervor. Es ist ein Bergland mit kuppigen, sanften Gipfelformen, von wenigen, aber steilwandig eingeschnittenen Tälern durchzogen. Das Relief ist weitaus gleichmäßiger und weniger intensiv gegliedert als in den jüngeren, gegen die Verwitterung nicht resistenten Gesteinsserien. Fazieswechsel und Bankung zwischen Schiefern und Quarziten sind im Luftbild an ihrem Grauton und unterschiedlichem Bewuchs deutlich anzusprechen. Das gesamte Gebiet ist stark mit mediterraner Macchia bewaldet.

Deutlich hebt sich von diesem kristallinen Untergrund die stratigraphisch nächsthöhere Einheit, die Kalk-Marmorserie des unteren Mesozoikums ab. Die Kalke und Marmore, die sich photogeologisch einmal durch ihren helleren Grauton sowie durch den geringeren Bewuchs und die ausgeprägtere morphologische Gliederung von den Quarziten und Schiefern des Verrucano unterscheiden, begleiten beidseitig das kristalline Gewölbe und bauen nördlich der Gola di Rosia die Montagnola Senese auf.

Die nächstjüngere photogeologische Einheit, die mesozoisch-tertiäre Wechselfolge, durchspießt besonders in der Umgebung von Murlo junge Deckschichten. Von dieser Folge sind vorwiegend Ophiolithe aufgeschlossen, nur in der engeren Umgebung von Murlo werden im Bereich intensiver Faltung Kalke und Radiolarite des oberen Malm angeschnitten. Die Wechselfolge des Gebietes von Murlo wird in der italienischen Literatur (SIGNORINI, 1967) als „formazione di Murlo" zusammengefaßt, und es wird ihr eine lokale Sonderstellung eingeräumt.

Die Serie der „argille scagliose" repräsentiert die Deckschichten und begleitet beidseitig den Höhenzug von Monticiano-Roccastrada sowie die durch Faltung bedingten Aufbrüche des Mesozoikums bei Murlo. Photogeologisch sind die wenig verwitterungsresistenten Schiefertone und Mergel der „argille scagliose" durch ihr weiches Relief und die intensive Bodennutzung klar von den übrigen Serien zu unterscheiden.

In der Umgebung von Roccastrada sind pliozan-altquartäre, saure Ignimbritdecken aufgeschlossen (MICHELUCCINI, 1961). Sie sind im Luftbild besonders an den oberflächlichen Fließtexturen und der steilwandigen Begrenzung der einzelnen Ströme gut anzusprechen.

8.12 Faltung
(Kartenbeilagen 1, 2) Profil A

Das beherrschende tektonische Element ist eine SSE-NNW streichende Großantikline, in deren Kern der Verrucano aufgeschlossen ist. Diese Antikline taucht allmählich nach N ab, wodurch die kristallinen Schiefer im Bereich der Gola die Rosia unter den mesozoischen Marmorserien der Montagnola Senese verschwinden. In sich ist dieses Gewölbe durch weitere Faltenzüge sowie Aufschuppungen intensiv gegliedert. Die Aufschuppungen bzw. Abscherungen sowie die unruhige Faltentektonik lassen sich durch das unterschiedliche Verhalten der heterogenen Serien gegenüber der tektonischen Beanspruchung erklären. Mächtige, faltungsinkompetente Schieferserien innerhalb des Verrucano wechseln mit kompetenten Quarzitlagen und -paketen. Hierdurch kommt es innerhalb der Schiefer zu einer intensiven bis in den Meterbereich gehenden Spezialfaltung, wogegen die Quarzite nur großräumig gebogen sind, dann bei weiterer Einengung abreißen und als Schollen den Schiefern aufgeschoben werden. Diese lokalen Aufschiebungen sind im Gelände immer wieder zu beobachten, so im Tal der Farma und an der Straße Monticiano-Lorenzo a Merse sowie in der Gola di Rosia. Zwei größere Aufschiebungen lassen sich in den Luftbildern zwischen Monticiano und Roccastrada durchverfolgen.

Die intensive Faltung innerhalb des Großgewölbes läßt deutlich zwei vorherrschende Achsenrichtungen erkennen. Einmal sind es die SSE-NNW streichenden Achsen, die annähernd parallel der Achse des Großgewölbes laufen. Ihr Streichen schwankt, wie aus den Diagrammen (Beil. 2) und der Karte (Beil. 1) zu ersehen ist, zwischen 170° und 150°. Daneben tritt eine zweite Richtung auf, die fast senkrecht bis spitzwinkelig auf der ersten Richtung steht. Ihr Streichen liegt bei etwa 25° bis 50°. Oft lassen sich sogar Faltenzüge beobachten, die von der einen auf die andere Faltungsrichtung mehrfach wechselnd umbiegen. Diese Luftbildbeobachtungen konnten durch die Geländemessungen bestätigt werden. Auch hier ist neben der SE-NW-Richtung der Faltung eine untergeordnete SW-NE Richtung zu beobachten. Beide Richtungen sind auf ein und dieselbe Beanspruchung zurückzuführen und entsprechen dem häufig beschriebenen Phänomen, B-senkrecht B, derselben Faltungsphase. Nördlich des Farma-Flusses tauchen die Achsen generell nach N, wogegen sie im S meist horizontal liegen.

Die Diagramme zeigen, daß die Sättel und Mulden im Kristallin meistens gleichfallende Schenkel bei einem Maximum von 30° Eintauchen haben. Dort, wo mächtigere Schieferserien eingeschaltet sind, so auf Diagramm Nr. 7 und Nr. 4, kann eine deutliche Ostvergenz der Strukturen beobachtet werden. Dasselbe Bild bieten die Sättel und Mulden der Montagnola Senese (Diagramm Nr. 1), wo beidseitig gleichmäßig abtauchende Strukturen beobachtet werden können, die nur dort, wo faltungsinkompetente Serien eingeschaltet sind, eine deutliche Ostvergenz mit steilem Ostflügel aufweisen.

Die Verrucanoaufwölbung ist gegen Osten den randlich anlagernden mesozoischen Kalken sowie den „argille scagliose" der „formazione di Murlo" aufgeschoben.

Nur im Norden ist ein flaches Osttauchen zu beobachten. Gegen die überlagernden Kalke kam es hier zu schichtparallelen Abscherungen und einer tektonischen Reduzierung der Kalkserie (formazione di Tocchi, SIGNORINI, 1967). Die Aufschiebung des Verrucano auf die Kalkserie ist jedoch auch an einigen Stellen, wo unter dem Verrucano wieder Kalke erbohrt wurden, nachgewiesen (SAGGINI, 1965).

Südlich von San Lorenzo a Merse ist kein Ostfallen mehr zu erkennen, sondern hier fallen sowohl Verrucano wie die Kalkserie mit 15°–20° nach W ein. Der Verrucano ist dem Mesozoikum überschoben (NOVARESE, 1944). Die schichtparallelen Bewegungen zwischen

Verrucano und Kalken im Norden sowie die Aufschiebung des Verrucano auf seine Deckschichten im Süden sind ebenfalls auf disharmonische Faltung zurückzuführen. Ist die Biegefähigkeit des Gesteins überschritten, kommt es zum Abscheren in den Sattelscheiteln und zur Verschuppung. Diese weitverbreiteten Bewegungen an der Grenze Verrucano–Kalk mit den Evaporiten als Gleitmittel führten überall in der Toskana zu einer reduzierten Schichtfolge der „Formazione di Tocchi".

Die im Osten anschließende Zone von Murlo zeigt mit „argille scagliose" intensiv verfaltetes Mesozoikum, wobei die Hauptachsenrichtung etwa 150° streicht und mit 10° nach NW einfällt. Auch hier tritt wieder untergeordnet die unter 50° Abweichung dazu streichende Querfaltung mit einer Achsenrichtung von 20° auf. Die mesozoischen Strukturen spießen bei Murlo durch die überlagernden „argille scagliose" durch, wobei aber die „argille scagliose" denselben Verfaltungsplan zeigen, und hier nichts auf eine Allochthonie dieser Serie hinweist. Einzig allein die Inkompetenz der „argille scagliose" führte zu Verschuppungen und schichtparallelen tektonischen Kontakten mit dem Mesozoikum. Die Falten zeigen eine deutliche Ostvergenz (Diagramm 6). Nur im Druckschatten faltungskompetenter Kalke ist lokal Antivergenz zu beobachten.

Im Süden bei Casale di Pari streichen die „argille scagliose" teilweise unter mesozoische Kalke und Verrucano. Hier scheint die Aufschuppung, die schon zwischen dem Verrucano und den Kalken eindeutig nachzuweisen ist, noch bis über die „argille scagliose" hinwegzugreifen und so zu einer tektonischen Überlagerung der älteren Serien über die Schiefertone zu führen. Die „argille scagliose" haben wieder denselben Verfaltungsplan wie die übrigen Serien (Diagramm Nr. 11), intensiv ostvergent mit einem steilen bis überkippten Ostflügel und einem Achsenstreichen von 170°.

Im Westen des Großgewölbes sind nördlich von Roccastrade „argille scagliose" dem Verrucano aufgeschuppt, wobei wieder innerhalb der Schieferzone derselbe Verfaltungsplan mit überkipptem Ostflügel auftritt. Die Falten scheren hier zum Teil ab und sind mit faltungskompetenten Schollen von Mesozoikum in sich verschuppt (Diagramm 9). Dieselben Phänomene zeigt auch das Diagramm Nr. 2 westlich Monticiano.

Zusammenfassend sind alle Strukturen einem einheitlichen Bauplan zuzuordnen, in den auch die immer wieder als allochthon beschriebenen „argille scagliose" (Trevisan 1963, Giannini et al 1962) einzubeziehen sind. Die Hauptachsenrichtung liegt bei 160° bis 170°. Quer dazu tritt eine untergeordnete, zweite Achsenrichtung auf. Aufschuppungen und schichtparallele tektonische Kontakte sind nur auf das unterschiedliche tektonische Verhalten der heterogenen Serien zurückzuführen. Gleitmittel waren die „argille scagliose", die Evaporite und Serpentinite.

Die Intensivierung der Faltungsintensität an der Ostflanke beherrschender Großstrukturen, so für das Gewölbe der Montagnola Senese in ostvergente Falten und abgescherte Schuppen in der „formazione di Tocchi" und in der „formazione di Murlo", ist typisch für den gesamten Baustil der Toskana (Bodechtel 1963).

8.13 Klüfte und Störungen
(Kartenbeilagen 3, 4)

Es wurden 1596,250 km „Lineamente" kartiert, die 6385 Meßpunkten entsprechen.

Die Klüfte und Störungen lassen sich eindeutig dem generellen SSE-NNW streichenden Achsenplan zuordnen. Wie aus den Diagrammen hervorgeht, ist am stärksten die ac-Richtung ausgebildet. Als weiteres deutliches Maximum tritt die achsenparallele bc-Richtung hervor. Untergeordnet entwickelt sind Scherrichtungen. Die Diagramme zeigen,

daß unabhängig vom Gestein oder von der tektonischen Einheit, allem derselbe Kluftplan zugrunde liegt.

Besonders auffällige Maxima sind überall dort anzutreffen, wo eine spätere Belebung der vorgezeichneten Kluftrichtung zu Störungen mit Vertikal- oder Horizontalversatzbeträgen führt. In Diagramm Nr. 5 und Nr. 6 ist besonders die ac-Richtung deutlich ausgeprägt. Dies hat sicher nicht zuletzt seinen Grund in mehreren Blattverschiebungen, die jünger als die Faltung sind und sogar die Falten gegeneinander versetzt haben. Dasselbe gilt für das Diagramm Nr. 2 im Bereich des Merse-Durchbruches.

In anderen Diagrammen hingegen, z. B. in Nr. 1, 3, 9 und 10, ist es besonders die bc-Richtung, längs der Störungen mit Vertikalversatzbeträgen liegen. Diese Störungen sind jünger als die Faltung und haben den paläozoischen Kern der Großantiklinale horstartig herausgehoben. Hierauf weisen einmal die markanten Randbrüche, so z. B. nördlich Monticiano oder am SW-Abfall der Montagnola Senese, hin und zum anderen die epigenetischen Durchbruchstäler der Flüsse Farma, Merse und Rosia, deren Verlauf exakt vorgezeichneten Kluftrichtungen folgt.

8.2 MONTEPULCIANO (NR. 121)
DAS GEBIET ZWISCHEN RAPOLANO UND CHIANCIANO BAGNI

Der bearbeitete Streifen auf dem Kartenblatt Montepulciano ist zum größten Teil von jungtertiären miozän-pliozänen Mergeln und Sanden bedeckt. Nur im zentralen Bereich eines stark gegliederten Höhenzuges zwischen Rapolano und Chianciano Bagni spießen durch die jungtertiären Sedimente immer wieder Gesteine des älteren Untergrundes. Die jungen, ungefalteten Sedimente füllen das gesamte Gebiet zwischen dem auf dem vorigen Kartenblatt beschriebenen Perm- und Mesozoikum-Aufbruch von Monticiano und Murlo und dem Höhenrücken Rapolano-Chianciano.

8.21 Photogeologische Schlüsseleinheiten

Verrucano tritt nicht auf. Vorherrschend sind die massigen Kalke des Rät und Lias, die im Luftbild durch ihre ausgeprägte Morphologie gegen die weichen von der Erosion intensiv durchfurchten jungen Lockersedimente abstechen. Am Ostabfall der einzelnen Kalkaufbrüche lassen sich Linsen von Kreidemergeln der Scagliafazies verfolgen. Diese Serie ist jedoch im Luftbild nicht eindeutig zu lokalisieren und konnte nur mit Hilfe der Geländebefunde angesprochen werden. In der nördlichen und südlichen Fortsetzung des gegliederten Höhenzuges liegen mächtige Flyschablagerungen, die sich vorwiegend aus Sandsteinen aufbauen. Die Flyschsedimente sind im Luftbild durch ihre deutliche Bankung, sowie durch ihr stark gegliedertes Relief und den intensiven Bewuchs leicht zu erkennen.

8.22 Faltung
(Kartenbeilagen 5, 6) Profil A

Die mesozoischen Aufbrüche im Bereich dieses Kartenblattes wurden insbesondere von Losacco-Giudice (1958) und Losacco (1951) sowie auch Jacobacci-Malatesta (1968) als schwach gefaltete, durch reine Störungstektonik mit geringer Aufschiebungstendenz horstartig gehobene Schollen gedeutet. Hier ermöglichte die Luftbildinterpretation erstmals einen ausgezeichneten Überblick über die Zusammenhänge. Der oft unterbrochene,

generell NNW-SSW streichende Höhenrücken baut sich aus vorwiegend 20°–30° westfallenden Kalkschollen auf. Im westlich anschließenden Gebiet sind in den hier durchspießenden mesozoischen Aufschlüssen entsprechend ostfallende und noch weiter westlich wieder westfallende Kalkfolgen zu beobachten. So ergibt sich ein ruhiger Faltenbau mit 160° streichenden Achsen.

Gegen Osten ist diese in sich gefaltete, westtauchende Scholle, mit einer markanten Aufschiebung auf hochgeschleppte, überkippte und intensiv spezialgefaltete Scaglia aufgeschoben. Die Spezialfaltung in der Scaglia und die Überschiebungsbahn lassen sich von 10 km südlich Rapolano über Trequanda und Montefollonico bis Montepulciano verfolgen. Sowohl Aufschiebung wie Hochschleppung der Scaglia konnten zwar aus den Strukturen des Luftbilds vermutet werden, waren aber erst bei der Geländebegehung zu bestätigen. Man hat auch hier wieder ein Beispiel für das unterschiedliche Verhalten der einzelnen Serien gegenüber der Faltung. Die kompetenten, mächtigen Kalke zeigen in sich einen ruhigen Faltenbau, sind aber abgeschert und auf die jüngeren inkompetenten Kalkmergel der Scaglia aufgeschoben. Es liegt hier also eine weitere NNW-SSW streichende große Antiklinale vor, die in ihrer Scheitelzone abgeschert und verschuppt wurde. Die Hauptachse dieser Struktur hat im zentralen Teil des Kartenblattes ihre höchste Kulmination und taucht sowohl gegen Norden wie auch gegen Süden ab. Dies zeigt sich in dem Verschwinden der mesozoischen Kalke unter den im selben Sinne intensiv gefalteten, überlagernden Flyschserien in ihrer nördlichen und südlichen Fortsetzung. Die Aufschuppung ist im Bereich der stärksten Achsenkulmination am intensivsten. Nach Norden zu verliert sie sich vollständig, denn hier werden bei Rapolano die mesozoischen Kalke mit annähernd umlaufendem Streichen normal von Scaglia überlagert.

Diagramm Nr. 1 zeigt die Schichtpole im Bereich von Rapolano, die eine flach aufgewölbte Kuppel erkennen lassen. Die starke Abweichung eines Maximums ist durch spätere intensive Bruchtektonik und damit verbundene Verstellung der einzelnen Schollen zu erklären. Diagramm Nr. 2 und 4 verdeutlichen den ruhigen Faltenbau innerhalb der mesozoischen Aufbrüche im Mittel- und Südteil des Kartenblattes. In allen drei Diagrammen scharen sich die gemessenen, wie auch konstruierten Achsen um die 150°–170° Richtung. Das Nord- und Südabtauchen der übergeordneten Großstruktur wird aus den Meßwerten nicht deutlich. Die Achsen liegen meist horizontal. Diagramm Nr. 3 zeigt die Meßwerte in den überkippten und stark gefalteten Scaglia-Aufschlüssen. Es sind reine Geländemessungen. Die beiden östlichen Polmaxima verdeutlichen die fast isoklinale ostvergente Spezialfaltung innerhalb dieser überkippten Serien. Das Streichen der eingemessenen Achsen weicht nicht von den Achsenrichtungen der Kalkserie ab.

8.23 Klüfte und Störungen
(Kartenbeilagen 7, 8)

Es wurden 1051 km „Lineamente" kartiert, die 4060 Meßpunkten entsprechen.

Klüfte und Störungen sind vorherrschend in ac-Richtung ausgebildet. Ein weiteres, aber weniger ausgeprägtes Maximum liegt in bc-Richtung. Scherrichtungen (hko) treten nur untergeordnet hervor.

Ein besonderes Phänomen ist hier, daß sich die in den mesozoischen Aufbrüchen beobachteten Richtungen der „Lineamente" auch in den noch unverfestigten, jungtertiären Sedimenten wiederfinden. Das gesamte Kluftsystem des Gebietes, was sich eindeutig der Faltung zuordnen läßt, ist hier durchgepaust. Dies ist teils durch ein junges Wiederaufleben von Störungen auf vorgezeichneten Richtungen, teils aber auch durch Kompaktion

der älteren, noch mitgefalteten Gesteine, die unter der Auflast der mächtigen jungtertiären Serien liegen, so besonders der im Kartenblatt kaum aufgeschlossenen „argille scagliose", zu erklären.

Wie schon erwähnt, wurden auch hier während einer eindeutig jüngeren Bruchtektonik teilweise die alten Richtungen wieder belebt. In bc-Richtung treten ebenfalls, wie beim Kartenblatt Siena, horstartige Heraushebungen der mesozoischen Kalke auf. Dies ist besonders im Bereich von Rapolano und Chianciano zu beobachten. Gebunden an diese jungen Störungen kam es hier zu der Bildung mächtiger Travertin-Terrassen.

Weitaus hervorstechender und nur mit Hilfe des Luftbildes erkennbar sind in ac-Richtung streichende Blattverschiebungen, die die aufgefalteten Schollen der mächtigen Kalkserien schachbrettartig gegeneinander versetzt haben. Die meisten dieser Blattverschiebungen haben den Nordteil nach Osten versetzt, wodurch gegenüber den generell 150° streichenden Faltenachsen der gesamte Höhenzug etwa 170° streicht. Diese jüngere Bruchtektonik bestimmt das strukturelle Bild im Gelände so stark, daß die markante Aufschuppung, die durch die Störungen natürlich mehrfach versetzt wird, von den früheren Bearbeitern (Losacco 1951, Losacco-Giudice 1958) übersehen wurde. Hier war es besonders durch die Kombination von Luftbild- und Geländearbeit möglich, eine ältere NNW-SSE streichende Falten- und Schuppentektonik von einer jungen, sicher postmiozänen Bruchtektonik zu trennen.

8.3 BLATT SANTA FIORA (NR.129)
DIE UMGEBUNG DES MONTE AMIATA UND DER MONTE CETONA

Der Vulkan des Monte Amiata stellt die höchste Erhebung im Bereich der südlichen Toskana dar. Hier haben die vulkanotektonischen Bewegungen zu einer jungen Hebung der gesamten Sedimentserie auf bis zu 400 m über ihre normale Höhenlage geführt (Pratesi u. Mazzuoli 1961). Durch diese junge Hebung sind in der Umgebung des Vulkans sämtliche Gesteinsserien des älteren Untergrundes, ausgenommen der Verrucano, freigelegt. Im Osten folgt nach einem 20 km breiten Streifen miozäner bis pliozäner Sedimente der Aufbruch des Monte Cetona, der in der südlichen Fortsetzung des auf dem Blatt Montepulciano beschriebenen Höhenzuges liegt. Im südöstlichen, nichtbearbeiteten Teil des Kartenblattes überdecken junge, quartäre, vulkanische Ablagerungen der Monti Vulsini um den Bolsena-See die Sedimente.

8.31 Photogeologische Schlüsseleinheiten

Neben dem Monte Cetona im Osten, der fast ausschließlich aus der Kalkfolge des Altmesozoikums besteht, ist im Kartenblatt an vier weiteren Stellen Altmesozoikum aufgeschlossen (Jacobacci, 1965). Nordöstlich des Monte Amiata ist es das Gebiet bei Campiglia d'Orcia und südlich des Monte Amiata sind es die Kalkscholle von Castell' Azzara sowie die beiden kleineren Aufbrüche längs des Albegna-Tales. Sie sind im Luftbild eindeutig anzusprechen.

Die mesozoisch-altertiäre Wechselfolge ist vor allem südlich und westlich des Monte Amiata in vielen Strukturen anzutreffen. Morphologisch treten hier innerhalb dieser Serie besonders die oligozänen Kalke hervor, die markante Felskomplexe bilden. Unter den oligozänen Kalken folgt eine wechselnd mergelig und kalkige Schichtfolge, die bis hinab in den mittleren Jura reicht. Jacobacci et al. (1959, 1967) haben diese Serie und ihre Verzahnung mit den „argille scagliose" eingehend beschrieben.

Der größte Teil des bearbeiteten Gebietes wird von „argille scagliose" bedeckt, die sich im Luftbild durch ihre weichen Formen und die von fluviatiler Erosion stark gegliederte Morphologie kennzeichnen. Teils überlagern sie die mesozoisch-tertiäre Wechselfolge und teilweise sind sie intensiv mit ihr verzahnt (Jacobacci et al 1959). Es ist auf diesem Kartenblatt sehr schwierig, die hangenden „argille scagliose" von den in die mesozoisch-tertiäre Wechselfolge eingeschalteten, mächtigen Tonmergel zu trennen, da weder Fossilinhalt noch petrographische Unterschiede die verschiedenen Tonmergelserien kennzeichnen.

Eine weitere photogeologisch ausgeschiedene Einheit sind mächtige Flyschbildungen in vorherrschend sandiger Fazies, die sich im Luftbild teils durch ihren Pflanzenwuchs und teils durch eine deutliche am Grauton erkennbare Schichtung ansprechen lassen. Außer in der Umgebung des Monte Amiata treten die „argille scagliose", wie auch die Flyschsedimente, in der streichenden Fortsetzung des Monte Cetona auf.

Die jungen Vulkanite des Monte Amiata sind durch ihre eindeutige, vulkanisch geprägte Morphologie im Luftbild leicht abzugrenzen.

8.32 Faltung
(Kartenbeilagen 9, 10) Profil B

Die Großstrukturen richten sich wieder nach der generellen NNW-SSE Richtung. Es sind zwei in dieser Richtung streichende Gewölbe zu unterscheiden, der Monte Amiata und Monte Cetona, die von einer 20 km breiten mit miozänen und pliozänen Mergeln ausgefüllten Zone getrennt sind.

Die Aufwölbung des Monte Cetona im Osten liegt in der direkten Fortsetzung der Strukturen des Blattes Montepulciano. Der Monte Cetona, dessen überkippte abgescherte Sattelstruktur schon von Lotti (1910) erkannt und beschrieben wurde, ist auch in jüngerer Zeit eingehend bearbeitet worden (Jacobacci, 1961; Passerini, 1965). Diese jüngeren Autoren sprechen nicht mehr von einer ostvergenten Isoklinalfalte wie Lotti (1910), sondern sehen in dem Monte Cetona eine durch ungefaltete, junge Sedimente durchspießende, insgesamt überkippt lagernde Scholle. Diese Deutung ist jedoch nicht für den gesamten Kalkkomplex berechtigt. Im Süden ist eine völlig normale, durch Fossilien (freundliche Mitteilung von Dr. R. Fischer, Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Marburg) belegte Abfolge zu beobachten. Gegen Westen setzt sich die Deckscholle des Monte Cetona in einigen nicht überkippten Aufbrüchen des Mesozoikums, die im Luftbild einen ruhigen Faltenbau erkennen lassen, fort. Am Ostabfall des Monte Cetona liegt nun unter den normal lagernden massigen Kalken des Rät und Lias eine mit 30°–50° westfallende überkippte Schichtfolge, von den geschichteten Kalken des unteren Jura bis in die oberjurassischen Radiolarite.

Generell stellt in seinem tektonischen Baustil der Monte Cetona die südliche Fortsetzung der abgescherten, jüngeren Sedimenten aufgeschobenen Antikline Rapolano-Chianciano dar. Die ruhig gefalteten, massigen mesozoischen Kalke wurden hier wiederum abgeschert, steil aufgerichtet und dem überkippten, liegenden Flügel der Falte aufgeschuppt. Somit ist die Kalkscholle des Cetona mit ihrem überkippten und intensiv ostvergent spezialgefalteten Ostflügel kein tektonisch einmaliges Phänomen in diesem Bereich (Passerini 1965; Saggini 1965), sondern nur die normale Fortsetzung des im Norden beschriebenen Zuges, wobei es hier zur stärksten Intensivierung der Schuppentendenz kam. Gegen Süden keilen die überkippten Schubfetzen allmählich aus und tauchen unter „argille scagliose" und Flyschgesteine, die mit der gleichen Achsenrichtung verfaltet sind. Die Poldiagramme Nr. 14 und 15 veranschaulichen dieses Bild. Im Diagramm Nr. 14

westlich des Hauptgipfelkammes sind die Maxima der ruhig verfalteten Strukturen gut zu erkennen. Östlich des Hauptkammes im Diagramm Nr. 15 repräsentieren die seigeren bis zu 30° westfallenden Schichtpole den überkippten Flügel. Gemessene wie konstruierte Achsen streichen generell zwischen 150° und 170°. Eine untergeordnet erkennbare Querfaltung mit einem Streichen um 30° ist ebenfalls ausgebildet.

Im Bereich der Kulmination des Monte Amiata ist das auf den ersten Blick sehr verworrene tektonische Bild eindeutig auf eine intensive, disharmonische Faltung zurückzuführen. Unabhängig von den betroffenen Gesteinsserien sind wieder die beiden Achsenrichtungen zu beobachten, vorherrschend die 150°–170° Richtung und daneben Strukturen, die 20°–30° streichen. Charakteristisch ist auch hier wieder, daß die kompetenten, massigen, mesozoischen Kalke als einheitliche kaum gebogene Schollen in der intensiv gefalteten Umgebung liegen. Die mesozoisch-tertiäre Wechselfolge, der Flysch und die „argille scagliose" zeigen einen deutlich ostvergenten Faltenbau, der sich immer im Osten der starren, sich der Faltung widersetzenden Kalke zur Schuppentektonik intensiviert. Hier wird wie nirgend anderswo deutlich, daß die Tonmergelfolge der „argille scagliose" mit eingeschalteten Kalken und Flyschgesteinen nicht eine spätere, überschobene Decke darstellt (Trevisan 1963; Boccaletti u. Sagri 1964). Vor allem bei San Martino im Süden des Kartenblattes, wie auch bei der in ihr Dach hineingedrückten, steilstehenden Kalkscholle längs der Albegna zeigt sich, daß die „argille scagliose"-Serie mit in die gleiche Faltungsphase gehört. An vielen Stellen ist sie mit „autochthonen toskanischen Gesteinen" verschuppt oder von ihnen überschoben, was bei einem späteren Darübergleiten einer Decke unmöglich wäre. Auch das Streuen der Faltenachsen in den „argille scagliose" gegenüber dem einheitlichen Strukturplan der „seria toscana" (Boccaletti u. Sagri, 1964) ist kein Beweis für die Deckentheorie. Es wurde übersehen, daß in beiden Serien sich die Maxima der Achsenpole überlappen. Die Streuung innerhalb der inkompetenten „argille scagliose" ist allein auf ein Ausweichen und Biegen der Klein- und Spezialfalten um kompetente sich der Faltung widersetzende Kalkeinschaltungen zurückzuführen. Wahrscheinliche Olisthostrome (Görler u. Reuter, 1968) sind im Gelände mehrfach zu beobachten (Boccaletti u. Sagri, 1964). Wegen ihrer geringen Ausdehnung sind sie jedoch für den tektonischen Bau nicht von Bedeutung.

Südlich des Monte Amiata sind zwei deutliche Aufwölbungen zu unterscheiden. Von beiden Aufwölbungen sind die steilgestellten oder osttauchenden Flügel der mesozoischen Gesteine erhalten.

Dies ist einmal die Struktur deren seigerer, bis steilost tauchender Flügel sich längs der Albegna in zwei Schollen verfolgen läßt. Die Achse dieser Struktur ist im Bereich der „argille scagliose" außerhalb des Kartenblattes zu suchen. Östlich dieser mezosoischen Schollen sind dann die Gesteine der mesozoisch-tertiären Wechselfolge zusammen mit den „argille scagliose" intensiv ostvergent verfaltet. Dies ist am deutlichsten in den stark gefalteten Gesteinen an der Ostflanke des Kalkaufbruches nördlich Roccalbegna, die einer Bugwelle gleich vor der aufgefalteten kompetenten Scholle zusammengeschoben wurden (Diagramm Nr. 3). Der einheitliche Beanspruchungsplan (Kalk, „argille scagliose" und mesozoisch-tertiäre Wechselfolge) in der Umgebung der Kalkscholle im südlichen Albegnatal (Diagramm Nr. 7, 10), die als starrer Keil in die nachgebenden und ausweichenden Tonmergel hineingedrückt und mit ihnen verschuppt ist, wurde bisher (Gelmini et al 1967) nicht erkannt.

Die zweite Großstruktur ist durch die Kalkschuppe von Martino als Westflügel und die ost- bis nordosttauchende Kalkscholle von Castell Azzara als Ostflügel markiert. Dieser Sattel läßt sich nach Norden bis zum Monte Amiata verfolgen und wird besonders in einem deutlich ostvergent verfalteten Flyschaufbruch anschaulich.

Im Süden ist der Westflügel an mehreren westfallenden Aufbrüchen der mesozoischen Kalke, der Wechselfolge und Flyschsandsteine beidseitig des Fioratales zu erkennen. Innerhalb dieses Flügels sind die mesozoischen Kalke bei San Martino sul Fiora auf „argille scagliose" aufgeschoben (Diagramm Nr. 11). Der Ostflügel mit der Kalkscholle von Castell'Azzara (ELTER 1955) ist durch eine junge Störung parallel des Fiora Tales nachträglich herausgehoben (Diagramm Nr. 8).

Östlich der Kalkscholle von Castell Azzara sind die Gesteine der mesozoisch-tertiären Wechselfolge und hier besonders die altertiären Kalke intensiv verfaltet, wobei zwei Achsenrichtungen deutlich werden (siehe Diagramm Nr. 9).

Sämtliche Poldiagramme südlich des Monte Amiata zeigen eindeutig ihre Bindung an denselben Beanspruchungsplan. Das vorherrschende Maximum schwankt zwischen 170° bis 150°. Die zweite, bei 30° liegende Richtung ist vorhanden, aber nicht so deutlich ausgebildet.

Das Diagramm Nr. 13 zeigt die Geländemessungen von weiter im Süden durch die jungen Vulkanite des Bolsena Sees durchspießenden jungmesozoischen Gesteinen bei Sorano, die um eine NS-Achse gefaltet sind.

Westlich und nördlich des Monte Amiata wird in der mesozoisch-tertiären Wechselfolge sowie in den „argille scagliose" die SW-NE Richtung der Struktursachen deutlicher, was aus den Diagrammen Nr. 1, 2 und 3 hervorgeht. Die Faltungsintensität läßt hier zum Hangenden hin in den überlagernden Flyschsandsteinen nach. Westlich und südlich Arcidosso sind diese nur noch großräumig verbogen.

Bei Campiglia d'Orcia haben wir einen weiteren Aufschluß der mesozoischen Kalkserie. Es sind generell west- bis nordwestfallende Kalkschollen, deren inkompetente, mergelig-tonige Einschaltungen deutliche ostvergente Spezialfalten zeigen. Die Kalkschollen sind in sich mehrfach verschuppt. In die Schuppen sind wieder als Gleitmittel die „argille scagliose" einbezogen, was auch hier wieder auf die gleichzeitige Verfaltung beider Serien hinweist.

8.33 Klüfte und Störungen
(Kartenbeilagen 11, 12)

Es wurden 2678 km „Lineamente" kartiert, die 10 712 Meßpunkten entsprechen.

Markante, im Luftbild erkennbare Störungen sind wieder in bc-, bzw. ac-Richtung angeordnet. Diese Störungen sind auch hier jünger als die Faltung und nur auf den der Faltung zuzuordnenden Kluftrichtungen wiederbelebt. So sind südlich des Monte Amiata SW-NE streichende Blattverschiebungen deutlich, die oft die einzelnen Falten- und Schuppenstrukturen versetzen. Dasselbe gilt für das Gebiet um den Monte Cetona.

Die achsenparallelen Störungen haben auch hier vorherrschend zu vertikalen Bewegungsbeträgen geführt, was besonders die Heraushebung der Kalkscholle von Castell Azzara und die treppenartig nach Westen abgesetzten Kalke des Monte Cetona zeigen. Die Maxima der Kluft- und Störungsdiagramme liegen verständlicherweise parallel den Hauptrichtungen der jungen Bruchtektonik. Die ac-Richtung der SW-NE gerichteten Faltenachsen im nördlichen Bereich (Diagramm Nr. 1, 2, 4) entspricht der bc-Richtung im südlichen Bereich (Diagramm Nr. 7, 12), was die gleichzeitige Anlage dieser Richtungen verdeutlicht.

Das ausgeprägte 150°–160° streichende Maximum des Diagramms Nr. 5 repräsentiert die jungen, hier in parallelen Schaaren auftretenden Blattverschiebungen der gleichen Richtung. So zeigt das SW-NE streichende Maximum in Diagramm Nr. 10 eine Häufung der tektonischen Trennflächen parallel der ebenso streichenden Blattverschiebung. Die beiden auffälligen Maxima in Diagramm Nr. 7 sind auf die intensive Bruchtektonik in

diesen beiden Richtungen zurückzuführen. Das Diagramm Nr. 3, in dem nur die Vulkanite des Monte Amiata erfaßt sind, zeigt, daß die vulkano-tektonischen „Lineamente" und Brüche ebenfalls den alten Kluftrichtungen folgen.

8.4 ORBETELLO/TUSCANIA (NR. 135/136) DAS GEBIET ZWISCHEN CAPALBIO UND MANCIANO

Zwischen der Halbinsel Orbetello im Westen und dem Fiora-Fluß im Osten streichen noch einmal die Gesteine des älteren Untergrundes zutage aus. Gegen Südosten verschwinden sie unter den quartären Vulkaniten, die dann größtenteils das gesamte Gebiet längs der Küste bis Rom bedecken. Im Süden setzen sie längs einer scharfen SWS-ENE streichenden Linie gegen das Meer ab. Östlich des Fiora-Flusses überragen nur noch drei kleine Inseln des sedimentären Untergrundes die vulkanischen Gesteine, und zwar bei Pitigliano und Sorano (Losacco 1961) im Norden und bei Canino im Süden. Das Gebiet wurde hier nur bis etwa 10 km westlich Capalbio bearbeitet, da der weiter im Westen anschließende Küstenstreifen sowie die Halbinsel von Orbetello in Luftbildern nicht erhältlich sind. Generell herrschen in dem unbearbeiteten Streifen die gleichen Strukturen. Weitgehend ist dieser Teil recht eintönig, da er sich fast ausschließlich aus massigen Rätkalken aufbaut.

8.41 Photogeologische Schlüsseleinheiten

Westlich des Fiora-Flusses am Monte Bellino (Dessau 1951) sowie am Monte Maggiore und bei Capalbio sind die Quarzite und kristallinen Schiefer des Verrucano aufgeschlossen. Photogeologisch lassen sie sich eindeutig, wie auch auf Blatt Siena, von den überlagernden Serien abgrenzen.

Die altmesozoischen, vorherrschend massig bis dickbankigen Kalke zeigen deutliche Schichtung, die durch selektive Erosion im Luftbild sehr schön herausgearbeitet ist.

Gesteine der jungmesozoisch bis tertiären Wechselfolge sind nur an zwei Stellen anzutreffen, einmal in einem Faltenaufbruch nördlich Manciano (Losacco, 1960), dann in einer abtauchenden Antiklinalstruktur zwischen den stark herausgehobenen paläozoisch-mesozoischen Schollen im Süden (Passerini u. Pirini, 1965).

Darüber folgen wieder „argille scagliose", denen östlich Manciano Flyschsandsteine zwischengelagert sind (Pellegrini, 1967).

Zwischen Marsiliana und dem Albegna-Fluß im Norden bis zu den rezenten Alluvionen südlich Capalbio lassen sich junge, vorwiegend sandige, feingeschichtete Sedimente im Luftbild ansprechen, die in der Karte dieselbe Signatur erhielten wie die Flyschsandsteine. Es sind Sandsteine, Konglomerate und Mergel, die zwar den in die „argille scagliose" eingeschalteten Sandsteinserien ähnlich sind, jedoch eindeutig die „argille scagliose"-Serie überlagern. Im Luftbild unterscheiden sie sich besonders durch die sehr intensive Paralleltextur, was auf einen sehr raschen Fazieswechsel im Meterbereich zurückzuführen ist. Diese Serie hat nach Mancini (1960) miozänes Alter.

Als jüngste Schlüsseleinheit sind die Laven und Tuffe des Bolsena-Vulkans anzuführen, die fast das gesamte Gebiet östlich der Fiora bedecken. In ihnen ist im Luftbild ausgezeichnet der Wechsel zwischen Tuff- und Lavalagen zu erkennen.

Erwähnenswert sind noch mächtige Travertine, die nicht gesondert auf der Karte ausgeschieden wurden und vor allem in der Umgebung sowie nördlich des Monte Canino bis zu einer Mächtigkeit von 30 m entwickelt sind.

8.42 Faltung (Kartenbeilagen 13, 14) Profil C

In den bisherigen Beschreibungen (LOTTI 1910, SIGNORINI 1954, 1966) wird der strukturelle Bau des Gebietes weitgehend durch Bruchtektonik erklärt, wobei durch einzelne Verwerfungen getrennt, Kalke und Verrucano als west- oder ostfallende, in sich kaum verbogene Schollen liegen.

Die Analyse der Luftbilder wie auch die Geländebefunde zeigen einen deutlichen Faltenbau. Die Strukturachsen streichen 140°–150°.

Entgegen der NNW-SSE-Richtung in den nördlichen Gebieten herrscht hier NW-SE, bzw. in einigen Falten sogar W-E Richtung vor.

Drei Sattelstrukturen lassen sich erkennen, in deren Kern jeweils Verrucano angeschnitten ist. Innerhalb des Verrucano nimmt die Faltungsintensität, bedingt durch die inkompetenten Schiefer, zu, wogegen die überlagernden, starren Kalke meist nur großflächig verbogen sind.

Die Antikline nördlich von Capalbio ist deutlich ostvergent. Der Ostflügel ist teilweise sogar überkippt. Im Norden ist dieser Sattel durch eine jüngere Blattverschiebung versetzt und in den anschließend anstehenden Kalken und Schiefern nur noch in seinem Westflügel aufgeschlossen. Der Ostflügel wurde abgeschert und die generell SW fallende Kalk-Verrucano-Scholle einer stark eingequetschten Mulde der „argille scagliose" aufgeschoben. Die durch diese Aufschuppung intensiv eingeengte Mulde paßt sich in ihrem Achsenstreichen der WNW-ESE Richtung der Aufschiebung an. Nördlich anschließend sind die „argille scagliose" im normalen Sinne mit einem Achsenstreichen von 150° verfaltet. Diese stark zerscherte Antiklinalstruktur, in die auch die „argille scagliose" miteinbezogen sind, beweist wieder die gleichzeitige Verfaltung der beiden Serien. Die Intensivierung und Verschuppung im Bereich um Capalbio entspricht dem in der Toskana immer wieder zu beobachtenden Phänomen. Die im Westen bis Orbetello nur flachwellig verbogenen Kalke (Diagramm Nr. 1) sind bei ihrem NE-gerichteten Bewegungssinn im steiler tauchenden Ostflügel eines großräumigen Sattels mit inkompetenten, weichen Serien ostvergent verfaltet und verschuppt.

Östlich schließt eine flache Mulde an. Erst der darauf folgende Sattel des Monte Maggiore ist wieder ostvergent verfaltet, ohne daß es hier jedoch zu Verschuppungen kommt (Diagramm Nr. 5). Auch hier sind wieder „argille scagliose", Sandsteine und jungmesozoische Kalke an seiner Ostflanke intensiv verfaltet. In der nördlichen Fortsetzung dieser Strukturen zeigt sich dieselbe Faltung in den jungen, vorher beschriebenen Sandsteinen und Mergeln des Miozäns (Diagramm Nr. 2).

Die Antiklinalstruktur des Monte Bellino, die weiter im Osten bis zum Fiora-Tal anschließt, ist nur noch in ihrem nördlichen Teil zu erkennen. Im Süden blieb nach jüngerer Bruchtektonik nur mehr der osttauchende Schenkel dieser Antikline erhalten. Im Diagramm Nr. 4 wird deutlich, daß auch hier neben dem generellen Streichen der Faltenachsen um 150° die senkrecht auf dieser Richtung stehende Querfaltung mit einem Maximum um 70° ausgebildet ist.

In der Umgebung von Manciano sind die „argille scagliose" intensiv um 150° Achsen verfaltet, wobei an einigen Stellen in der Scheitelzone der Antiklinen der ältere Untergrund durchbricht.

Der Monte Canino westlich des Fiora-Flusses bildet eine nach SW tauchende Kalkscholle, in der Spezialfalten mit 150°, 30° und 60° Streichen, gemessen werden konnten (Diagramm Nr. 5). Eine streichende Fortsetzung der Kalke über 5 km nach Norden läßt sich aus mächtig entwickelten Travertinen ableiten.

8.43 Klüfte und Störungen (Kartenbeilagen 15, 16)

Insgesamt wurden im Bereich dieses Kartenblattes 875,750 km „Lineamente" kartiert, die entsprechend 3503 Messungen in den Diagrammen ausgewertet wurden.

Die kartierten „Lineamente" sind wieder als ac, bc und hko Klüfte dem generellen Achsenplan um 130°–150° zuzuordnen. Die Maxima sind vorherrschend in der ac- und bc-Richtung ausgebildet. Die auffälligsten Maxima in diesen beiden Richtungen sind auf Diagramm Nr. 3 („argille scagliose") und Nr. 8 zu beobachten.

Die weniger deutlich akzentuierten Maxima auf den Diagrammen Nr. 1 und 2 sind durch die starke disharmonische Faltung in diesem Bereich und die damit verbundene Änderung der Achsenrichtung zu erklären. Im Monte Canino ist besonders die ac-Richtung parallel den untergeordneten Querfalten mit etwa 25° Streichen ausgebildet. Markante Störungen streichen SW-NE bzw. SE-NW. Vor allem in der SW-NE Richtung liegen Blattverschiebungen. Die Betonung der ac-Maxima in den Diagrammen Nr. 4, 5, 6, 7, 8 ist durch die Wiederbelebung dieser Richtung durch jüngere Blattverschiebungen zu erklären. Das bc-Maximum im Diagramm Nr. 8 verdeutlicht den jungen Grabeneinbruch des Fosso Tafone zwischen den beiden Permaufbrüchen.

Das WSW-ENE streichendem orphologische „Lineament", mit dem die paläozoisch-mesozoischen Serien gegen die Küste absetzen, ist eine Blattverschiebung, die unter die Vulkanite des Bolsena-Sees streicht. Wenn man den Monte Canino als die südliche Fortsetzung des Monte Maggiore ansieht, ergibt sich eine Verschiebung der südlichen Scholle um 20 km nach Osten. Durch Schleppung längs dieser Blattverschiebungen ist auch die Drehung der Achsen aus der 160°–170° Richtung in die 140° Richtung innerhalb der Strukturen zwischen Capalbio und dem Fiora-Fluß zu erklären.

8.5 VITERBO/TERNI (NR. 137, 138) DAS GEBIET ZWISCHEN DEM TIBER UND DER EBENE VON RIETI IN UMBRIEN

In Umbrien wurde speziell das Gebiet zum Vergleich für die photogeologische Bearbeitung ausgewählt, wo die 150°–160° streichende toskanische Richtung von dem NS-Streichen des umbrischen Bogens abgelöst wird. Hier ist es einmal der Wechsel in der Richtung der Strukturachsen und zum anderen die abweichende umbrische Fazies der Sedimentserien, deren Zusammenhang mit der Faltung untersucht werden sollte.[1]

Das östlich der Ebene von Rieti anschließende Kalkmassiv des über 2000 m hohen Monte Terminillo, mit dem der umbrische Bogen längs einer markanten Aufschiebung der Linie von Rieti (Richter, 1963) den NW-SE streichenden Ketten der Abruzzen überschoben ist, wurde unter Verwendung von Luftbildern in einigen markanten Profilen begangen.

8.51 Photogeologische Schlüsseleinheiten

Als beherrschendes morphologisches Element treten die mächtigen Kalkserien, die für die umbrische Fazies charakteristisch sind, hervor. Die Kalkabfolge reicht hier von den

[1] Die Luftbilder dieses Gebietes konnten nicht erworben werden und ich möchte an dieser Stelle dem „Servizio Geologico d'Italia" in Rom danken, deren Herren es mir ermöglichten, in ihrer dortigen photogeologischen Abteilung die Luftbilder auszuwerten.

Rätkalken im Liegenden über die massigen Kalke des unteren Lias mit gebankten, bis feingeschichteten Kalken bis in die Kreide. Die Kalkserie wurde nicht weiter untergliedert, enthält also die gesamte Abfolge vom Rät bis in die Kreide. Diese Zusammenfassung ist berechtigt, weil sich der gesamte Komplex gegenüber der tektonischen Beanspruchung weitgehend einheitlich verhält. Gewisse Unterschiede in der Reaktion auf die Faltung lassen sich nur zwischen der feingeschichteten und massigen Fazies erkennen.

Photogeologisch ist die Kalkabfolge durch ihren hellen Grauton und durch typische Karstverwitterung sowie den für die Kalke charakteristischen, schütteren Maccia-Bewuchs gekennzeichnet.

Als nächstjüngere Einheit ist eine alttertiäre, der toskanischen Fazies ähnliche Wechselfolge an der Innenseite der beiden divergierenden Schenkel auszuscheiden.

Als jüngste photogeologische Einheit lassen sich im Luftbild jungtertiäre Sande und Mergel ansprechen.

8.52 Faltung
(Kartenbeilagen 17, 18) Profil D

Der strukturelle Bau dieses Gebietes ist weitaus einheitlicher und unkomplizierter als in den bearbeiteten Gebieten des toskanischen Faziesbereiches. Hier fehlen die sonst für die Strukturen bestimmenden, faltungsinkompetenten Schieferseien, wie die „argille scagliose", die in der Toskana zu der stark disharmonischen Faltung und der intensiven Verschuppung und Schollenbildung geführt haben.

Zwei markante Großstrukturen sind zu unterscheiden (Rau 1962). Einmal ist es die 150° streichende Antikline, die in dem Bereich zwischen Vaccone im Süden und Amelia im Norden bearbeitet wurde. Zum anderen ist es das rein NS streichende Gewölbe, das im Bereich von Terni leicht nach Norden abtaucht und gegen Süden über das Kartenblatt hinaus sich in den Monti Sabini fortsetzt.

Der 150° streichende Zug von Narni zeigt dieselben Charakteristika wie das Gebiet zwischen Rapolano und dem Monte Cetona auf den Kartenblättern Nr. 121 und 129. Eine vorherrschend westfallende in sich schwach gefaltete Kalkscholle ist jüngeren Sedimenten, die den überkippten Flügel dieser abgescherten Antikline bilden, aufgeschoben. Dieser völlig gleiche Bau berechtigt in dieser Struktur die südliche Fortsetzung der unter den Vulkaniten des Bolsena Sees untertauchenden verschuppten Antikline des Monte Cetona zu sehen. Die Erklärung für eine auffällige Versetzung des Höhenzuges von Narni um etwa 20 km nach Osten ist durch die in der Toskana überall zu beobachtenden SW-NE streichenden Blattverschiebungen zu erklären. Gebunden an diese junge Blattverschiebung, die sich westlich des Bolsena Sees auf Blatt Orbetello/Tuscania verfolgen läßt (S. 28), kam es dann in altquartärer Zeit um den Bolsena See zu dem gerade hier sehr intensiven Vulkanismus.

Die Großantiklinale taucht südlich Calvi unter jungen Deckschichten unter. Bei Calvi sind die Kalke an der Westflanke in sich verschuppt. Nördlich von Narni werden die Faltenstrukturen bei Amelia und Lugnano deutlicher und das im Süden einheitliche Großgewölbe fächert hier zu mehreren, teilweise verschuppten Falten auf, die dann nördlich Lugnano außerhalb des bearbeiteten Bereichs unter jüngeren Deckschichten untertauchen. Die Polidagramme Nr. 1 und 2 zeigen mit ihrem Maxima deutlich den ostvergenten teils überkippten Faltenbau und lassen eine annähernd 150° streichende Achse konstruieren.

Die östlich anschließende Großantikline ist um eine 180° streichende Achse gefaltet, wodurch die beiden beherrschenden Strukturen auffällig nach Norden divergieren. In das zwischen diesen Schenkeln sich bildende Dreieck südlich Terni sind jüngere Sedimente

muldenartig nach Norden abtauchend eingefaltet. Der Bau des N-S streichenden Gewölbes ist weitaus einfacher und ruhiger. Beide Faltenschenkel fallen gleichmäßig mit 20°–30° ein. Im zentralen Bereich ist eine breite Zone, wo die Kalke horizontal liegen oder mit weniger als 10° eintauchen. Im Westen schmiegt sich dieser Antikline mit gleichem Einfallen das Jungtertiär an und im Osten wird sie von den feingeschichteten Kreidekalken überlagert. Neben dem vorherrschenden NS Streichen läßt sich immer wieder dort, wo die geschichtete Fazies auftritt, das 150° Streichen der toskanischen Richtung beobachten. Diese Richtung sowie intensive Spezialfaltung ist am auffälligsten im Süden ausgeprägt, wo die verschuppte Stirn der toskanischen Antiklinale von Narni das NS streichende Gewölbe fast berührt. Es ist also hier im Bereich des Wechsels von toskanischer zu umbrischer Richtung der umbrischen Struktur untergeordnet das toskanische Streichen aufgeprägt. In den Diagrammen Nr. 3 und 4 kommt in den Polmaxima fast ausschließlich die umbrische Richtung zum Ausdruck, da die Beobachtung der toskanisch streichenden Bänke nur auf das Luftbild beschränkt ist. Jedoch zeigen die im Diagramm Nr. 4 eingetragenen Achsen der Spezialfalten deutlich dieses Element.

Östlich der Ebene von Rieti kulminieren die Kalke des umbrischen Bogens im photogeologisch nicht bearbeiteten Terminillo-Massiv. Die Kalkabfolge löst sich hier in einzelne morphologisch stark heraustretende NS streichende und westfallende Schollen auf. Flache mulden- und sattelartige Verbiegungen lassen sich besonders im Bereich der gebankten Fazies beobachten (Diagramm Nr. 5). Gegen Osten ist der umbrische Bogen mit einer flachen, NS streichenden und 20°–25° westtauchenden, markanten Aufschiebung, der Linie von Rieti (Richter 1963), den jüngeren Gesteinen der Abruzzen-Serie aufgeschoben. Im Liegenden der Überschiebungsbahn sind die generell 150° streichenden Abruzzenserien durch die ostwärts gerichtete Aufschiebung geschleppt. Die meist mergelig-tonigen Gesteine sind hier überkippt und passen sich dem Streichen der Aufschiebungsbahn an. Jedoch schon nach wenigen Kilometern im Vellino-Tal, nördlich Antrodocco, ist von dieser Schleppung nur mehr wenig zu erkennen, und das Achsenstreichen geht in die normalen NW-SE Strukturen der Abruzzen über.

8.53 Klüfte und Störungen
(Kartenbeilagen 19, 20)

Es wurden 1044,500 km tektonische „Lineamente" kartiert, die ausgewertet in den Diagrammen 4178 Messungen entsprechen.

Am deutlichsten ausgeprägte Kluftscharen treten in dem zentralen Teil der Höhenzüge, dort, wo eine intensive Karstverwitterung vorherrscht, auf. Im Bereich der Antikline von Narni zeigen die Diagramme Nr. 1, 2 und 3 ein auffälliges Maximum in ac-Richtung. Die bc-Richtung wird nur in den Diagrammen Nr. 1 und 3 deutlich. In allen drei Streichrosen sind die hko, also Scherrichtungen, gut ausgeprägt. Sie waren besonders innerhalb der Karsterscheinungen auszukartieren. In den Diagrammen Nr. 4, 5 und 6, in denen die „Lineamente" des NS streichenden Gewölbes erfaßt sind, tritt die ac- und bc-Richtung weniger deutlich in Erscheinung. Hier sind es die kho-Klüfte, die auffällige Maxima bilden. Daher zeigen die Diagramme ähnliche Maxima, wie innerhalb der 150° streichenden Struktur, nur daß die ac-Richtung des Rückens von Narni hier der hko-Richtung entspricht. Einzig in Diagramm Nr. 5 aus dem mittleren Bereich des N-S-Gewölbes wird die ac-Richtung mit einem auffälligen und die bc-Richtung mit einem kleinen Maximum deutlich.

Störungen liegen in Relation zum toskanischen Streichen in ac- bzw. bc-Richtung. Die Störungen sind auch hier wieder jüngere Belebungen alter „Lineamente". Nördlich des

Nera-Flusses sind einige Blattverschiebungen anzusprechen. Südlich weisen Randstörungen auf eine junge horstartige Heraushebung der Antikline von Narni hin. Dasselbe gilt für die Störungen, die das NS streichende Gewölbe parallel dem Vellino-Tal begleiten. Zusammenfassend zeigen die Maxime der tektonischen Trennflächen, daß die umbrisch und toskanisch streichenden Strukturen in der gleichen Verfaltungsphase entstanden sind.

9. TEKTONISCHE ZUSAMMENHÄNGE IM TOSKANISCH-UMBRISCHEN APENNIN

Der toskanische Apennin zeigt einen großräumigen, ostvergenten Faltenbau mit intensiver Schuppentendenz zwischen kompetenten und inkompetenten Serien.

Die kompetenten Verrucano-Quarzite und mächtigen mesozoischen Kalke wurden durch eine NE-gerichtete Einengung sattelartig aufgewölbt. In den Scheitelzonen der Sättel scherten sie ab und schoben sich mit markanten Aufschiebungen über jüngere Serien. So spießen heute in der Toskana durch die jungen, nicht gefalteten obermiozän- bis pliozänen Sedimente vorherrschend nur die Westflügel dieser Sattelstrukturen als generell westtauchende, ruhig gefaltete Schollen. Eine Ausnahme bilden lokale Zerscherungen innerhalb der Phyllit-Quarzitwechselfolge des Verrucano. Wie eine Bugwelle haben diese Großschollen die übrige faziell stark wechselnde Schichtfolge vor ihrer Stirn intensiv gefaltet und zusammengeschoben.

In der vorherrschend aus inkompetenten Serien aufgebauten mesozoisch-tertiären Schichtfolge wiederholt sich nun auf engem Raum dasselbe tektonische Bild, das die Großschollen bieten. Geringmächtige kompetente Einschaltungen sind in der gleichen Weise abgeschert und verschuppt wie die Großschollen des älteren Untergrundes.

Es zeigt sich deutlich, daß die Dimensionen der einzelnen Strukturen abhängig sind von der Mächtigkeit der kompetenten Serien. Die abgescherten Sattelstrukturen des Verrucano und der mesozoischen Kalke sind analog ihrer Mächtigkeit entsprechend weiträumig und haben eine Amplitude von bis zu 50 km. Die Falten- und Schuppenstrukturen der geringmächtigen, kompetenten Einlagerungen innerhalb der mesozoisch-tertiären Wechselfolge und der „argille scagliose" zeigen dementsprechend eine engere Folge der Falten und Schuppen.

Im eigentlichen Arbeitsgebiet lassen sich zwei Großstrukturen beobachten.

Im Westen ist es das Verrucano-Gewölbe von Monticiano-Roccastrada, das sich nach Süden über die Monti Leoni, die auf dem nicht bearbeiteten Kartenblatt Grosseto liegen, bis in das Gebiet von Capalbio fortsetzen. In dem Gebiet südlich des Monte Amiata sind in den beiden aufgerichteten, steil ostfallenden mesozoischen Kalkschollen, längs der Albegna, Relikte des ostvergenten bis überkippten Ostflügels der Großstruktur. In nördlicher Richtung streicht sie über die Montagnola Senese bis in den Bereich von Iano und weiter über das Arnotal bis in die Apuaner Alpen (Abb. 2).

Östlich schmiegen sich die vorher erwähnten intensiv gefalteten und verschuppten jüngeren Serien an. Sie lassen sich von dem Gebiet von Murlo über die verfalteten Serien südlich des Monte Amiata bis Manciano verfolgen. Um den Monte Amiata wird dieser intensiv verfaltete Bereich besonders breit, was die mesozoischen Schollen von Castell Azzara und Campiglia d'Orcia beweisen.

Gegen Westen wiederholen sich ähnliche Strukturen bis in den Bereich des toskanischen Archipels (Bodechtel 1963).

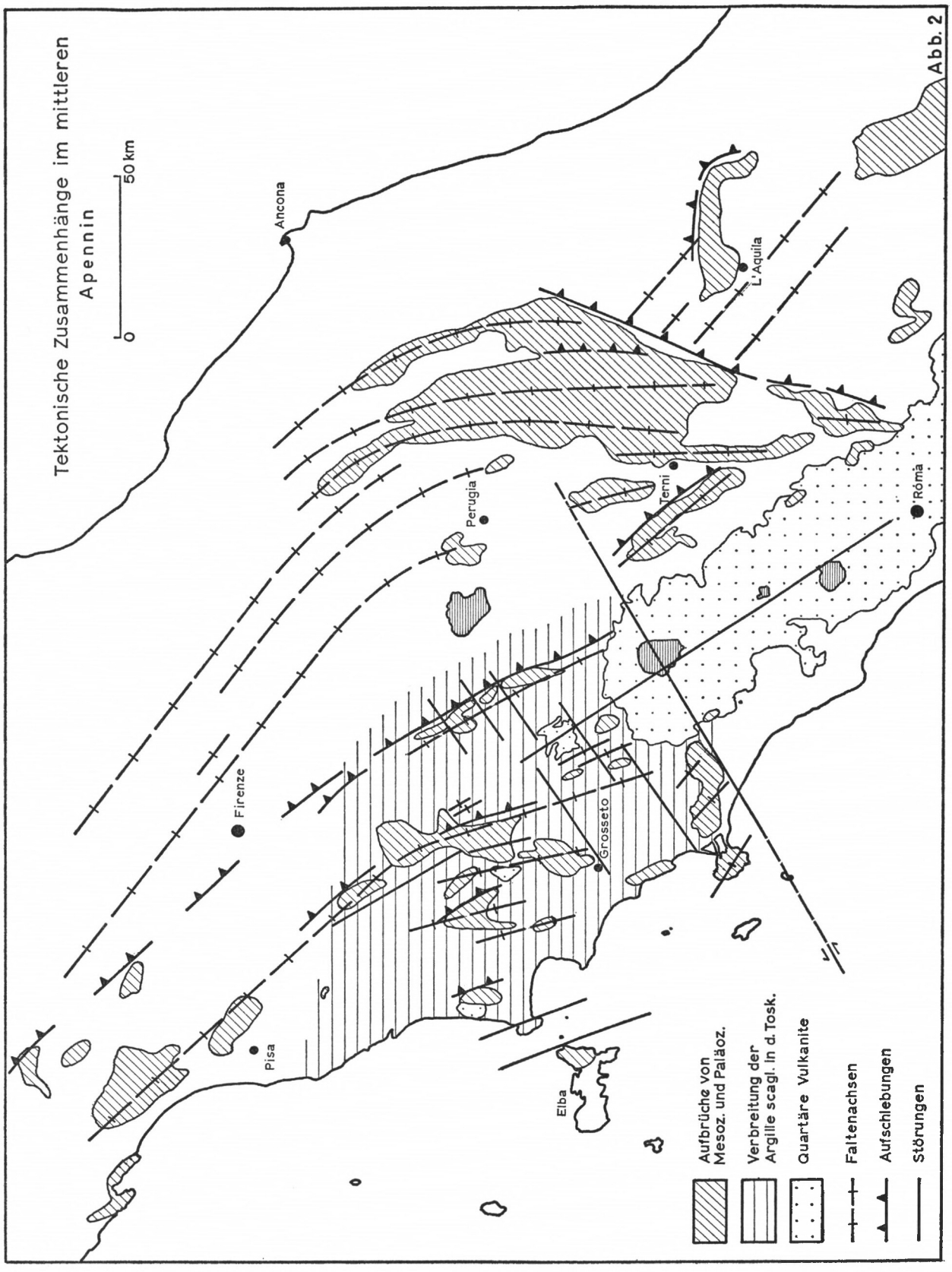

Tektonische Zusammenhänge im mittleren Apennin
0
50 km
Ancona
L'Aquila
Perugia
Terni
Roma
Firenze
Grosseto
Pisa
Elba
Aufbrüche von Mesoz. und Paläoz.
Verbreitung der Argille scagl. in d. Tosk.
Quartäre Vulkanite
Faltenachsen
Aufschiebungen
Störungen

Abb. 2

Im Osten bricht zwischen Rapolano und dem Monte Cetona die nächste ostwärts verschuppte Großstruktur durch junge Decksedimente durch. Diese östlichste Großstruktur toskanischen Streichens erstreckt sich nach Süden mit gleichem Baustil bis in den Höhenzug von Narni in Umbrien und nach Norden über die Monti Chianti, das Arnotal querend, bis zum Monte Orsaro (SAGGINI, 1965, REUTTER, 1968) im Apennin nördlich der Apuaner Alpen (Abb. 2).

Im Osten schließen die Serien des umbrischen Bogens an. Hier herrscht ein ruhiger Faltenbau vor, wobei es auch zur Verschuppung mächtiger Kalkschollen kam. Die Verschuppung erreicht jedoch nicht dieselbe Intensität wie in der Toskana, da hier die als plastisches Gleitmittel dienenden mächtigen „argille scagliose" fehlen. Im umbrischen Bogen, dessen Strukturen von einem vorherrschenden NW-SE Streichen in ein N-S Streichen im Süden umbiegen, hebt sich gegen Süden der Kalkapennin allmählich heraus und ist längs der Linie von Rieti den Falten der Abruzzen aufgeschoben (Abb. 2). Das Umbiegen in die NS-Richtung ist sicher durch die Schleppung längs dieser ostwärts gerichteten Aufschiebung zu erklären.

Jünger als die Faltung sind SW-NE und NNW-SSE streichende Störungen, die teils die Falten und Schuppen als Blattverschiebungen versetzen und teils die alten Strukturen horstartig herausheben. Die Störungen folgen vorherrschend den altangelegten ac- und bc-Richtungen und nicht Scherrichtungen (GUZETTA-SCARSELLA, 1966).

Am markantesten sind die Blattverschiebungen in dem östlichen Zug zwischen Rapolano und Calvi in Umbrien. Der größte Verschiebungsbetrag ist längs der Linie, die sich von südlich Orbetello über den Lago di Bolsena nach Umbrien verfolgen läßt, zu erkennen (Abb. 2). Hier ist der südliche Teil, so der Höhenzug von Narni gegen den Monte Cetona, um 20 km nach Osten versetzt.

Die altquartären Vulkanite liegen ebenfalls auf diesen Bruchsystemen. So ist der Monte Amiata an eine junge NNW-SSE streichende horstartige Heraushebung gebunden. Die Vulkane nördlich von Rom lassen sich auch alle auf der streichenden Fortsetzung dieser Linie aufreihen. Im Schnittpunkt dieser Struktur mit der oben erwähnten großen Blattverschiebung liegt der um die zentrale Caldera des Bolsena-Sees aufgebaute Vulkan der Monti Vulsini (Abb. 2).

10. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der einheitliche Achsenplan in der gesamten Toskana mit einer vorherrschenden NNW-SSE Richtung und einer untergeordneten SW-NE Richtung zeigt, daß die tektonische Verformung des Gebietes auf einen Faltungsakt zurückzuführen ist.

Eine Überschiebung der „argille scagliose"-Decken (TREVISAN 1963, ELTER et al. 1960) über die autochthonen „toskanischen Serien" ist auszuschließen. Dagegen spricht einmal der einheitliche Achsenplan und zum anderen die intensive Verfaltung und Verschuppung der „argille scagliose"-Serie mit den toskanischen Einheiten. Olisthostrome innerhalb der inkompetenten Serien sind nur lokal ausgebildet und für die Tektonik des Gebietes von untergeordneter Bedeutung.

Es ist auch nicht notwendig, die einzelnen Faltenzüge als durch Einengung im Untergrund verursachte Hebungszonen (rughe tettoniche) im Sinne von MERLA (1953) zu deuten. Durch die weitgespannte Amplitude der Falten in den mächtigen sich einer Biegung wider-

setzenden paläozoischen und altmesozoischen Gesteinen, die ab einem bestimmten Grad der Einengung in den Sattelscheiteln zerreißen und als Schuppen hochgepreßt werden, erklärt sich die regelmäßige Wiederholung der Hochgebiete des Untergrundes. MERLA (1953) übersah auch bei seiner Deutung, daß die horstartige Heraushebung der Scheitelzonen noch durch eine Bruchtektonik verstärkt wird, die jünger ist als die Verfaltung und Verschuppung.

Die Faltung in der Toskana ist eine rein disharmonische Faltung zwischen mächtigen, wechselnd kompetenten und inkompetenten Gesteinsabfolgen. Die Verschuppungen und schichtparallelen Bewegungen zwischen den faltungsinkompetenten „argille scagliose" und den unterlagernden mächtigen Kalk- und Quarzitserien genügen vollständig, um die „Allochthonie" der „argille scagliose" zu erklären.

Die Faltung hat in der Toskana vor dem Obermiozän stattgefunden, worauf die ungefalteten oder nur leicht verstellten obermiozän- bis pliozänen Sedimente hinweisen.

Jünger ist eine Bruchtektonik, die auf den ac- und bc-Richtungen der, den Hauptfaltenachsen zuzuordnenden Kluftsysteme neu belebt wurde. Diese Bruchtektonik war bis ins Altquartär wirksam, was die, diesen Richtungen aufsitzenden Vulkane beweisen.

11. LITERATUR

BARBIER, E.: Studio Fotogeologico di una Parte dell'Appennino Tosco-Emiliano. – Boll. Soc. Geol. Ital., **83**, 24 S., 1964.

BEHRMANN, R. B.: Die geotektonische Entwicklung des Apennin-Systems. – Geotekt. Forsch., **12**, I-II, 1–99, 1958.

BOCCALETTI, M. & SAGRI M.: Strutture Caotiche dell'Appennino 1) Eta', Assetto e Giacitura del Complesso Argilloso-Calcareo Affiorante nella parte Occidentale del f°. 129 „S. Fiora". – Boll. Soc. Geol. Ital., **83**, 461–510, 1964.

BODECHTEL, J.: Stratigraphie und Tektonik der Schuppenzone Elbas. – Geol. Rdsch., **53**, 25–41, 1963.

BORTOLOTTI, V.: La Tettonica Trasversale dell'Apennino I. – La Linea Livorno-Sillaro. – Boll. Soc. Geol. Ital., **85**, 529–540, 1966.

DESSAU, G.: Tecniche fotogeologiche e loro applicazioni in Italia. – Industria Mineraria, **10**, 559–565, 1959.

DESSAU, G.: Geologia e Depositi di Antimonio e d'altri Metalli del Gruppo del Monti Romani (Comune di Manciano, Maremma Toscana). – Boll. Soc. Geol. Ital., **70**, 1–64, 1951.

ELTER, P.: Geologia della Regione di Castell'Azzara, a sud del Monte Amiata (Grosseto). – Boll. Soc. Geol. Ital., **74**, 317–337, 1955.

ELTER, P., GIANNINI E., TONGIORGI M. & TREVISAN L.: Le varie unità tettoniche della Toscana e della Liguria orientale. – Lincei-Rend. Sc. fis. mat. et nat., **29**, 497–502, 1960.

ELTER, P., GIANNINI E., TONGIORGI M. & TREVISAN L.: Chronologie et caractères des mouvements tactoniques de l'Apennin septentrional. – Manuskr. Geol. Vereinigung, 53. Jahrestagung, 1963.

GELMINI, R., MANTOVANI M. P. & MUCCHI A. M.: La Serie a Facies Toscana de Fiume Albegna Presso Semproniano (gia Samprugnano-Grosseto). – Mem. Soc. Geol. Ital., **6**, 359–378, 1967.

GIANNINI, E., NARDI B. & TONGIORGI M.: Osservazioni sul Problema della Falda Toscana. – Boll. Soc. Geol. Ital., **81**, 17–98, 1962.

GÖRLER, K. & REUTTER K. J.: Entstehung und Merkmale der Olisthostrome. Geol. Rdsch., **57**, 484–514, 1968.

GORTANI, M.: Recenti Progressi della Conoscenza Strutturale dell'Italia. – Geotekt. Symposium zu Ehren von Hans Stille, 143–176, 1956.

GUZZETTA, G. & SCARSELLA F.: Sulla possibile applicazione dello schema tettonico di Moody e Hill (Wrench-Fault Tectonics) all'Appenino. – Rend. dell'Accad. delle Sc. Fis. e Mat., **33**, 199–218, Napoli 1966.

JACOBACCI, A.: La Serie Rovesciata del Monte Cetona. – Boll. Serv. Geol. Ital., **83**, 33–49, 1961.

JACOBACCI, A.: Carta geologica d'Italia, F°. 129, „Santa Fiore", 1 : 100000, Roma 1965.

JACOBACCI, A. & MALATESTA A.: Carta geologica d'Italia, F°. 121, „Montepulciano", 1 : 100000, Roma 1968.

JACOBACCI, A., MALFERRARI N., MARTELLI G. & PERNO U.: Osservazioni e Consideazioni sulle Formazioni Terziarie Pre-Pontiche Affioranti nel F°. 129, „Santa Fiora". – Boll. Serv. Geol. Ital., **81**, 181–197, 1959.

JACOBACCI, A., MARTELLI G. & NAPPI G.: Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia, 1 : 100 000. – F°. 129, S. Fiora, 61 S., 1967.

LATTMANN, L. H.: Technique of mapping geologic fracture traces and lineaments on aerial photographs, Photogramm. Eng., **24**, 568–576, 1958.

LOSACCO, U.: Osservazioni Geologiche Sulle Arenarie della Toscana Meridionale. – Boll. Soc. Geol. Ital., **77**, 43–75, 1958.

LOSACCO, U.: Richerche Geologiche nella Toscana Meridionale V.-Minori Affioramenti Autoctoni e Alloctoni della Regione Vulsina. – Boll. Soc. Geol. Ital., **80**, 247–256, 1961.

LOSACCO, U.: La Struttura del Territorio di Rapolano e Lucignano (Siena e Arezzo). – Boll. Soc. Geol. Ital., **70**, 402–434, 1951.

LOSACCO, U.: Richerche Geologiche nella Toscana Meridionale IV.-Notizie Sulla Stratigrafia e la Tettonica della Regione di Manciano-Saturnia (Grosseto). – Boll. Soc. Geol. Ital., **79**, 107–134, 1960.

Losacco, U. & Giudice D. D.: Stratigrafia e Tettonica degli Affioramenti Mesozoici posti fra le Colline di Rapolano e il Monte Cetona (Siena). – Boll. Soc. Geol. Ital., **77**, 1–42, 1958.

Lotti, B.: Geologia della Toscana. – Mem. Descr. della Carta Geol. Ital., XIII, 484 S., 1910.

Maffi, C. & Marchesini E.: Semi-Automatic Equipment for Statistical Analysis of Airphoto Linears. – Photogrammetric Engineering, 139–141, 1964.

Mancini, F.: Sulla Geologia della Piana d'Albegna (Grosseto). – Boll. Soc. Geol. Ital., **79**, 1–90, 1960.

Manfredini, M.: Schema dell'Evoluzione Tettonica della Penisola Italiana. – Boll. Serv. Geol. Ital., **84**, 27 S., 1963.

Manfredini, M.: Sui Rapporti fra Facies Abruzzese e Facies Umbra Nell'Appennino Centro Meridionale. – Boll. Serv. Geol. Ital. **84**, 28 S., 1966.

Marchesini, E., Pistolesi A. & Bolognini M.: Fracture patterns of the natural steam area of Larderello, Italy, from airphotographs. Arch. Int. de Photogramm., **14**, 524–532, 1963.

Merla, G.: Geologia dell'Appennino Settentrionale. – Boll. Soc. Geol. Ital., **70**, 95–382, 1951.

Micheluccini, M.: Guide for the excursion to Roccastrada (Tuscany). – Int. Ass. of Volcanology Symp. on „Ignimbrites and Hyaloclastites", 7 S., 1961.

Mortari, R.: Osservazioni Geologiche fra Casale di Pari e il Torrente Farma (Grosseto). – Boll. Soc. Geol. Ital., **86**, 495–501, 1967.

Novarese, V.: Trivellazione nella Valle della Farma (Catena metallifera toscana). – Boll. R. Uff. Geol. d'Ital., **69**, 1944.

Passerini, P.: Il Monte Cetona (Provincia di Siena). – Boll. Soc. Geol. Ital., **83**, 219–338, 1965.

Passerini, P. & Pirini C.: Stratigrafia del Mesozoico e dell'Eocene della „Serie Toscana" nella zona di Manciano e Montemerano (Grosseto). – Boll. Soc. Geol. Ital., **84**, 331–354, 1965.

Pellegrini, M.: Osservazioni Geologiche Sull'Arnaria di Manciano. – Mem. Soc. Geol. Ital., **6**, 329–342, 1967.

Pratesi, M. & Mazzuoli R.: Guide for the excursion to Mt. Amiata (Tuscany). – Int. Ass. of Volcanology Symp. on „Ignimbrites and Hyaloclastites", 10 S., 1961.

Rau, A.: Studio Tettonico della zona di Convergenza tra due Anticlinali fra Terni e Rieti. – Boll. Soc. Geol. Ital., **81**, 323–344, 1962.

Reutter, K.-J.: Die tektonischen Einheiten des Nordapennin. Eclogae Geol. Helv., **61**, 183–224, 1968.

Richter, M.: Der Bauplan des Apennins. – N. Jb. Paläont. Mh. **9**, 509–518, 1963.

Saggini, F.: Per una Rinnovata Interpretazione Regionale dei „Raddoppi" Tettonici Locali della Serie Toscana. – Boll. Soc. Geol. Ital., **84**, 311–346, 1965.

Signorini, R.: Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia 1 : 100 000. – F°. 135, Orbetello, 28 S., 1967.

Signorini, R.: Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia 1 : 100 000. – F°. 120, Siena, 42 S., 1967.

Signorini, R.: Il Verrucano della Toscana Meridionale. – Atti del Symposium sul Verrucano, 55–71, 1966.

Signorini, R.: Geologia del Monti di Capalbio (Grosseto). – Boll. Soc. Geol. Ital., **73**, 19–29, 1954.

Steinmann, G.: Alpen und Apennin. – Z. Dt. Geol. Ges., **59**, 177–183, 1907.

Trevisan, L.: La Paléogéographie du Trias de L'Apennin Septentrional et Central et ses Rapports Avec la Tectogénèse. – Livre a la Mém. du Prof. P. Fallot, tome II, Soc. Géol. de France, 217–225, 1960–1963.

Trevisan, L.: Il Centro di Studio per la Geologia dell'Appennino II Sezione. – Pisa. – Notiziario de „La ricerca scientifica" 3, N. **9**, 999–1008, 1963.

Wunderlich, H. G.: Alpiner und Apenniner Achsenplan in Ligurien und Toscana. – Geol. Rdsch., **53**, 57–73, 1963.

Wunderlich, H. G.: Der gegenwärtige orogenetische Zustand der Apennin-Halbinsel. – Tectonophysics, **1**, 495–516, 1965.

Wunderlich, H. G.: Wesen und Ursachen der Gebirgsbildung, BI. Hochschultaschenbücher 339, 339a, 339b, 367 S., Mannheim 1966.

ANLAGEN

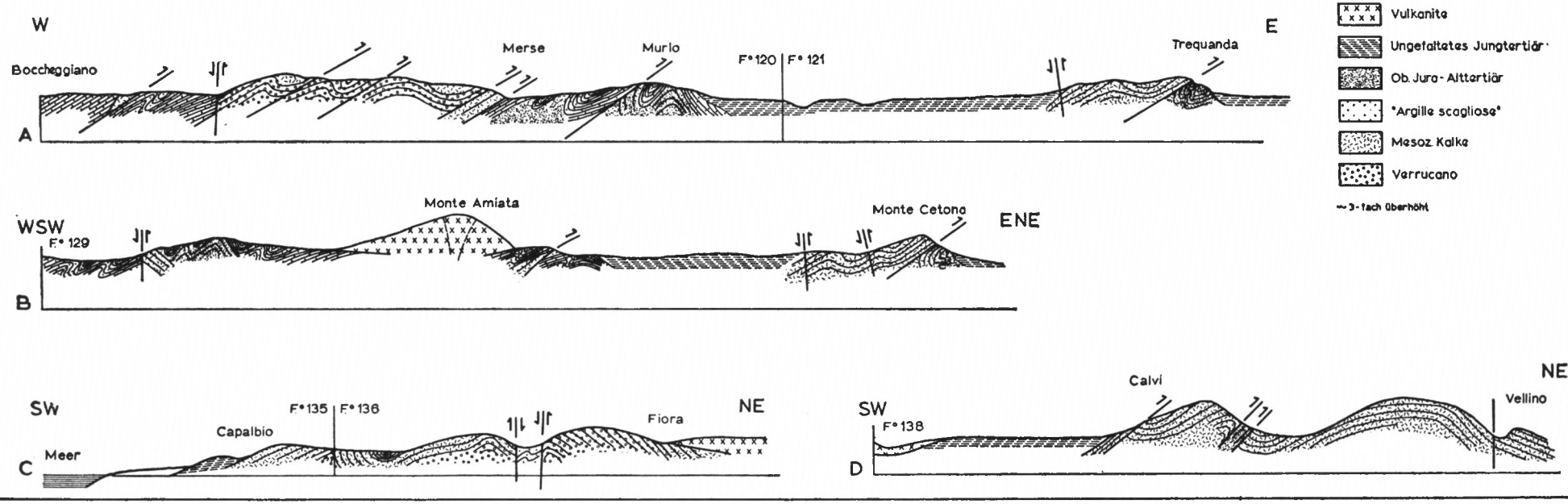
Schematische Profiltafel

Legende zu den photogeologisch-tektonischen Interpretationskarten

20 Kartenbeilagen

Schematische Profile

~6 km



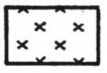
Legende

zu den photogeologisch-tektonischen Interpretationskarten

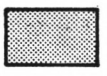
M.: 1:100.000



Jungtertiär-Quartär (weiss auch die photogeolog. nicht bearbeiteten Bereiche.)



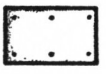
Vulkanite



Sandstein (Tertiär)



photogeologisch ungegliederte Schichtfolge (Ob. Jura - Alttertiär)



"Argille scagliose"



massige und geschichtete Kalke (Mesozoikum)



Quarzite und Phyllite (Verrucano)

+485 Luftbildhauptpunkt mit Bildnummer

Klüfte und Störungen



"Lineamente" allgm. (Klüfte u. Störungen)

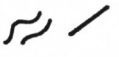


Störungen im Luftbild erkennbar



Blattverschiebungen mit Bewegungssinn

Schichten und Falten



Schichtköpfe



Streichen; Fallrichtung mit Wert



überkippt

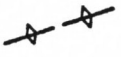


saiger

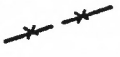


horizontal

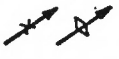
SpF Spezialfalten



Sattelachse



Muldenachse



Richtung des Achsentauchens



Aufschiebung (Pfeile = Bewegungsrichtung)

KARTENBEILAGEN

F.° 120 Siena

Nr. 1 Faltentektonik
Nr. 2 Poldiagramme – (Schichtflächen)
Nr. 3 Klüfte und Störungen
Nr. 4 Richtungsrosen (Klüfte und Störungen)

F.° 121 Montepulciano

Nr. 5 Faltentektonik
Nr. 6 Poldiagramme – (Schichtflächen)
Nr. 7 Klüfte und Störungen
Nr. 8 Richtungsrosen (Klüfte und Störungen)

F.° 129 Santa Fiora

Nr. 9 Faltentektonik
Nr. 10 Poldiagramme – (Schichtflächen)
Nr. 11 Klüfte und Störungen
Nr. 12 Richtungsrosen (Klüfte und Störungen)

F.° 135/136 Orbetello/Tuscania

Nr. 13 Faltentektonik
Nr. 14 Poldiagramme – (Schichtflächen)
Nr. 15 Klüfte und Störungen
Nr. 16 Richtungsrosen (Klüfte und Störungen)

F.° 137/138 Viterbo/Terni

Nr. 17 Faltentektonik
Nr. 18 Poldiagramme – (Schichtflächen)
Nr. 19 Klüfte und Störungen
Nr. 20 Richtungsrosen (Klüfte und Störungen)

F° 120 SIENA

1

Faltentektonik
M.: 1:100.000

1° 30'
1° 00'
43° 20'
43° 00'

Siena
T. Rosia
Arbia
F. Feccia
Chiusdino
Monticiano
Montieri
Merse
Boccheggiano
Farma
Roccatederighi
Roccastrada
Lorenzo a Merse
Murlo
Ombrone
Bagno di Petriolo
Casale di Pari
F. Ombrone

Math.-nat. Abh. Bodechtel

Siena

Arbia

1 LG K /v 148

4 LG v 103

2 GL AC 70

3 G v 75

5 G v 69

6 LG mt 138

Murlo

Lorenzo a Merse

Merse

Ombrone

Chiusdino

Monticiano

Montieri

Merse

Boccheggiano

7 L v 135

8 G v 56

Bagno di Petriolo

Farma

9 LG Ac/K/v 80

10 LG v 142

11 LG AC 90

Roccatederighi

Roccastrada

Poldiagramme

ss-Flächen

2-5/5-10/ > 10 %

L = Luftbild G = Gelände

Fs Sandstein (Tertiär)
mt Wechself. (ob. Jura - Alttertiär)
AC "Argille scagliose"
K Kalke (Mesozoikum)
v Verrucano
87 Anz. der Messungen
● B Achsen (vorherrsch. Richtg.)
o B Achsen (unt. geordn. Richtg.)

F° 120 SIENA

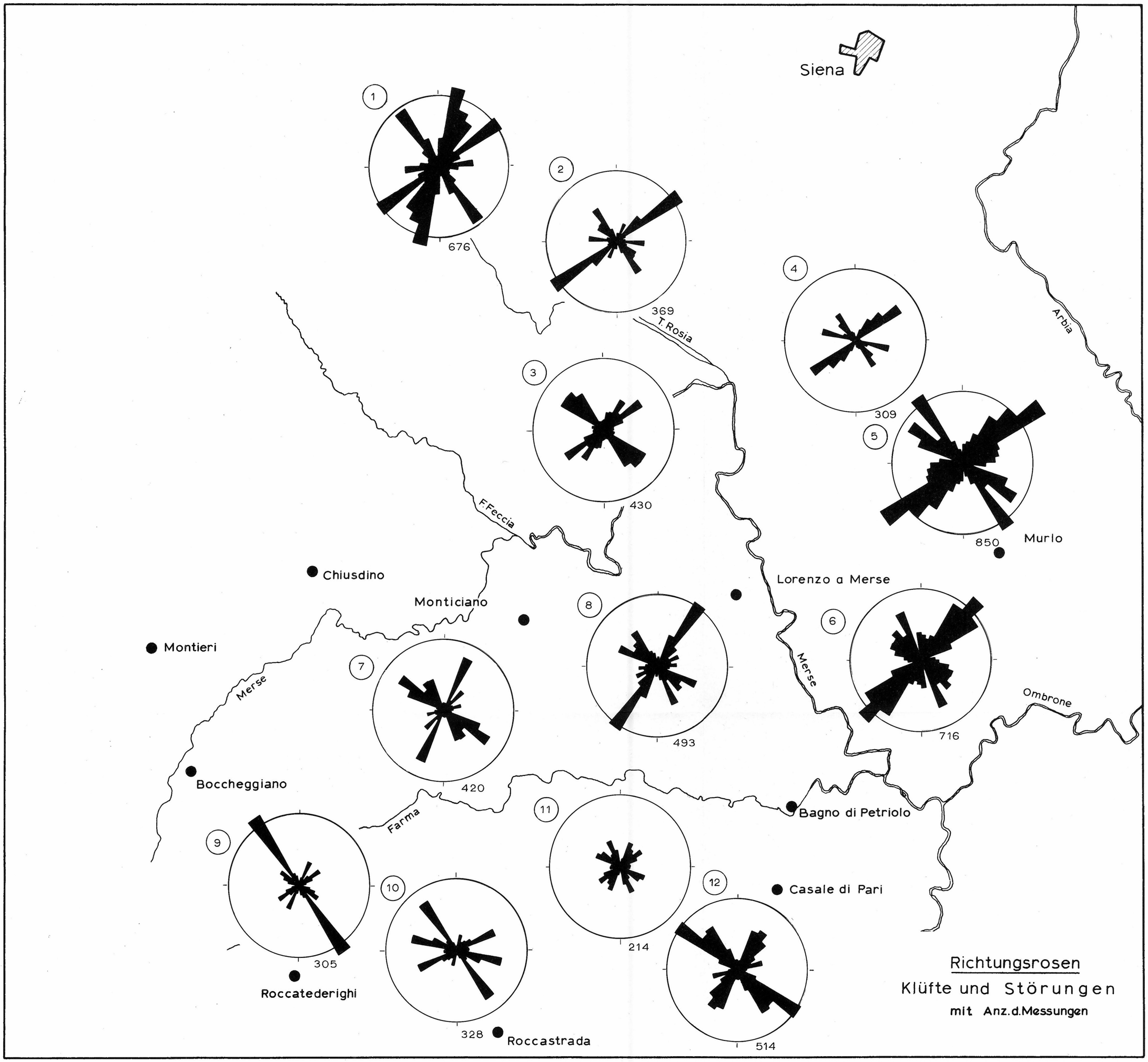
3

Klüfte und Störungen
M.: 1:100.000

1°30' 1°00' 43°20' 43°00'

Siena
T. Rosia
Arbia
Merse
F. Feccia
Chiusdino
Monticiano
Montieri
Boccheggiano
Roccatederighi
Roccastrada
Lorenzo d. Merse
Murlo
Ombrone
Bagno di Petriolo
Casale di Pari
F. Ombrone
Farma

Math.-nat. Abh. Bodechtel


Siena
1
676
2
369
T. Rosia
3
430
4
309
5
850
Murlo
Arbia
F. Feccia
Chiusdino
Monticiano
Lorenzo a Merse
8
493
6
716
Merse
Ombrone
Montieri
7
420
Merse
Boccheggiano
Farma
Bagno di Petriolo
11
214
12
514
Casale di Pari
9
305
Roccatederighi
10
328
Roccastrada
Richtungsrosen
Klüfte und Störungen
mit Anz.d.Messungen

F.° 121 MONTEPULCIANO

1°00'

0°30'

43°20'

43°00'

Faltentektonik

M.: 1:100.000

Rapolano

Asciano

Trequanda

Sinalunga

Montefollonico

Montepulciano

Pienza

Buonconvento

Montalcino

Chianciano

Chianciano Bagni

Chiusi

L. di Montepul - ciano

F. Ombrone

T. Arbia

T. Asso

F. Orcia

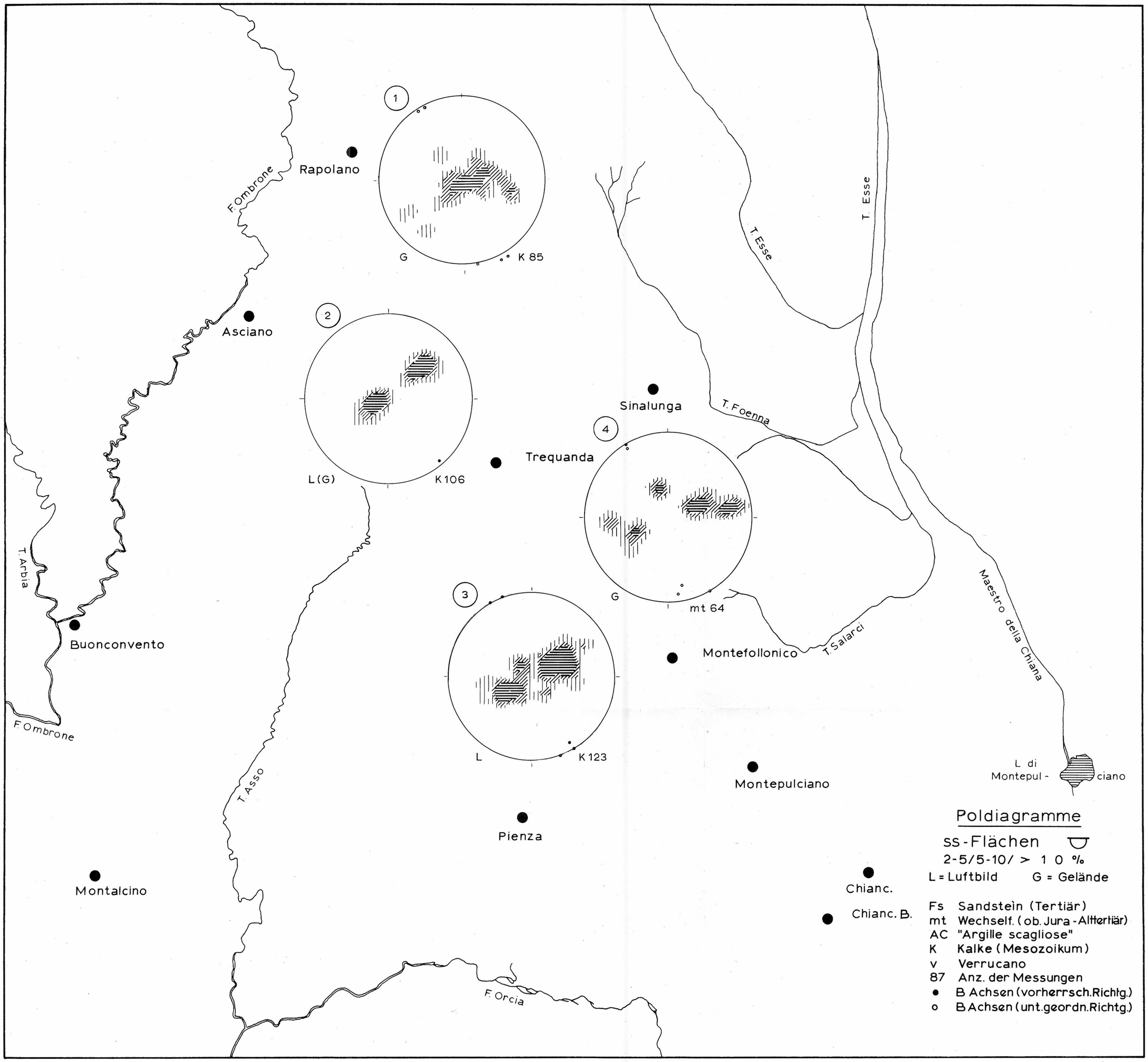
T. Esse

T. Foenna

T. Salarci

Maestro della Chiana

Math.-nat. Abh. Bodechtel


F. Ombrone
Rapolano
1
G
K 85
Asciano
2
L (G)
K 106
T. Esse
T. Esse
Sinalunga
T. Foenna
4
Trequanda
G
mt 64
T. Arbia
Buonconvento
3
L
K 123
Montefollonico
T. Salarci
Maestro della Chiana
F. Ombrone
T. Asso
Montepulciano
L di Montepul - ciano
Pienza
Montalcino
Chianc.
Chianc. B.
F. Orcia
Poldiagramme
ss-Flächen
2-5/5-10/ > 10 %
L = Luftbild G = Gelände
Fs Sandstein (Tertiär)
mt Wechself. (ob. Jura - Alttertiär)
AC "Argille scagliose"
K Kalke (Mesozoikum)
v Verrucano
87 Anz. der Messungen
• B Achsen (vorherrsch. Richtg.)
o B Achsen (unt. geordn. Richtg.)

F.° 121 MONTEPULCIANO

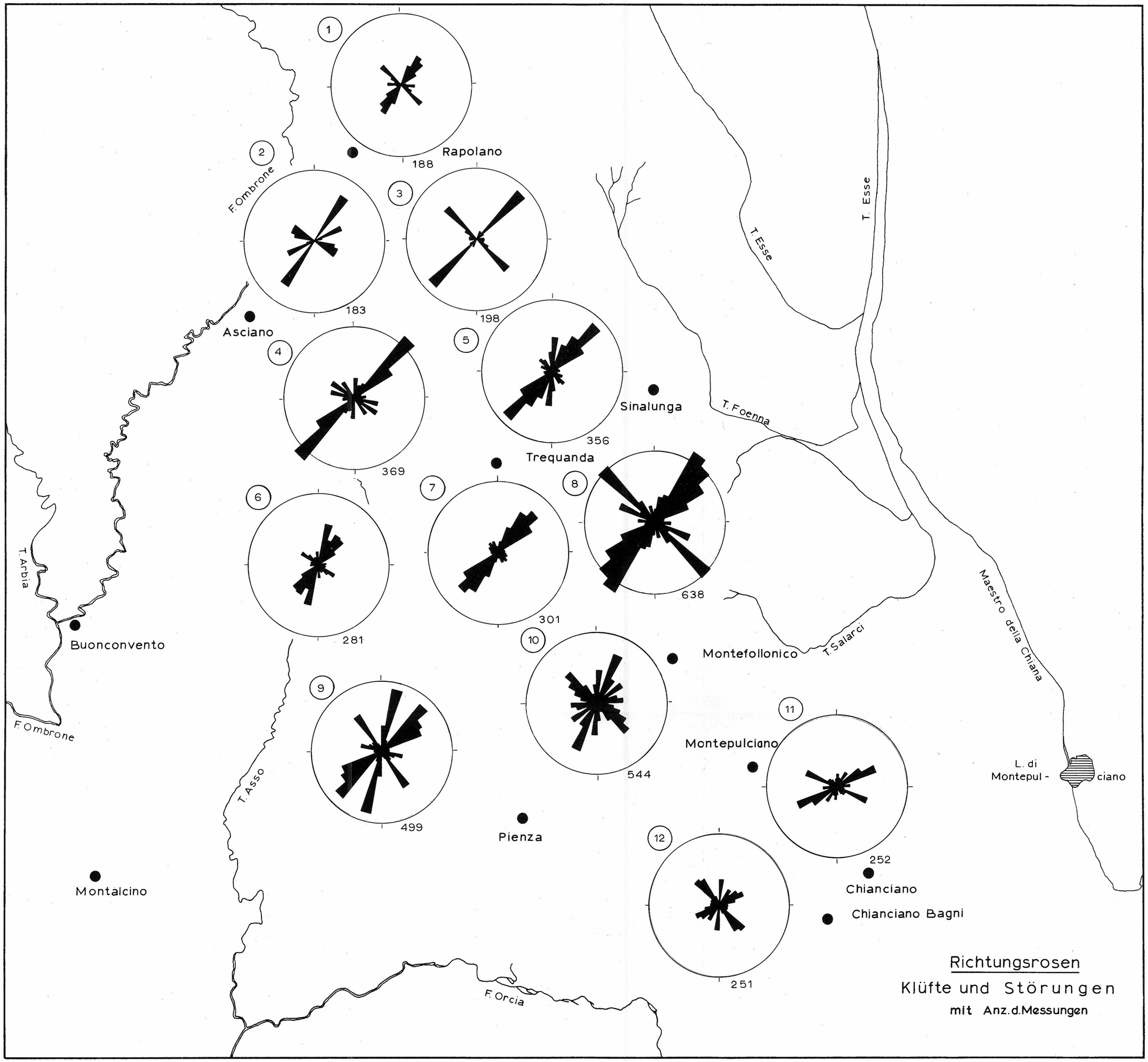
1°00' 0°30' 43°20' 43°00'

Klüfte und Störungen
M.: 1:100.000

Rapolano
Asciano
Sinalunga
Trequanda
Buonconvento
Montefollonico
Montepulciano
Pienza
Montalcino
Chianciano
Chianciano Bagni
Chiusi

F. Ombrone
T. Esse
T. Foenna
T. Arbia
T. Salarci
Maestro della Chiana
T. Asso
F. Orcia
L. di Montepul- ciano

Math.-nat. Abh. Bodechtel


1
188
Rapolano
2
183
F. Ombrone
3
198
Asciano
4
369
5
356
Sinalunga
T. Esse
T. Esse
T. Foenna
Trequanda
6
281
7
301
8
638
T. Arbia
Buonconvento
F. Ombrone
10
544
Montefollonico
T. Salarci
Maestro della Chiana
9
499
T. Asso
11
252
Montepulciano
L. di Montepul - ciano
Pienza
12
251
Chianciano
Chianciano Bagni
Montalcino
F. Orcia
Richtungsrosen
Klüfte und Störungen
mit Anz.d.Messungen

F.° 129 SANTA FIORA

1°00' 0°30' 43°00' 42°40'

Faltentektonik
M.: 1:100.000

F. Orcia
Fiume Orcia
T. Paglia
F. Albegna
F. Fiora

Sarteano
Cetona
Campiglia
M. Amiata
Abbadia S. Salvatore
Arcidosso
S. Fiora
Roccalbegna
Castell Azzara
Acquapendente

Math.-nat. Abh. Bodechtel

F. Orcia

1 GL AC/Fs 120

2 GL K/mt 68

Campiglia

Fiume Orcia

14 L K/AC 85

Sarteano

15 LG K/mt 120

3 L mt/AC 120

Arcidosso

Δ M. Amiata

Abbadia S. Salvatore

6 LG AC 142

4 AC 120

S. Fiora

5 LG AC/Fs 100

T. Paglia

G(L)

Roccalbegna

7 LG AC/mt/Fs 81

8 GL K 120

Castell Azzara

9 GL mt 82

10 LG K/AC 65

F. Alb.

11 GL K/90

12 LG mt/AC 90

13 G mt 43

Poldiagramme

ss-Flächen

2-5/5-10/ > 10 %

L = Luftbild G = Gelände

Fs Sandstein (Tertiär)
mt Wechself. (ob. Jura - Alttertiär)
AC "Argille scagliose"
K Kalke (Mesozoikum)
v Verrucano
87 Anz. der Messungen
● B Achsen (vorherrsch. Richtg.)
o B Achsen (unt. geordn. Richtg.)

F.° 129 SANTA FIORA

1°00'

0° 30'

43°00'

42°40'

Klüfte und Störungen
M.: 1:100.000

F. Orcia

Fiume Orcia

T. Paglia

F. Albegna

F. Fiora

Campiglia

Sarteano

Cetona

Abbadia S. Salvatore

M. Amiata

Arcidosso

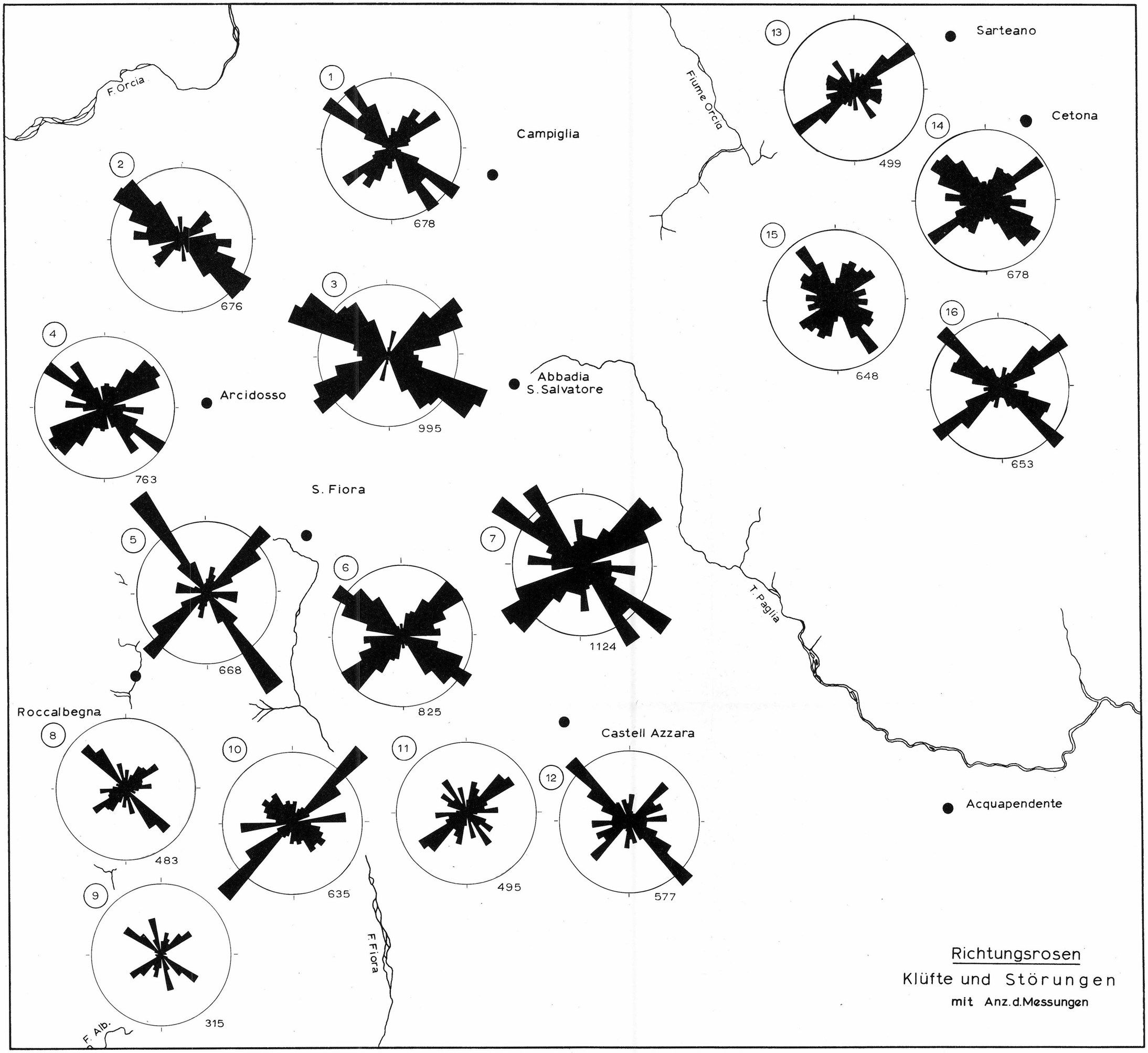
S. Fiora

Roccalbegna

Castell Azzara

Acquapendente

Math.-nat. Abh. Bodechtel



Richtungsrosen

Klüfte und Störungen

mit Anz. d. Messungen

F.º 135 ORBETELLO | F.º 136 TUSCANIA

13

Faltentektonik
M.: 1:100.000

42°40'

0°30'

Pitigliano

Lago di Bolsena

Manciano

F. Albegna

Marsiliana

Valentano

Canino

Capalbio

Tuscania

Mare Tirreno

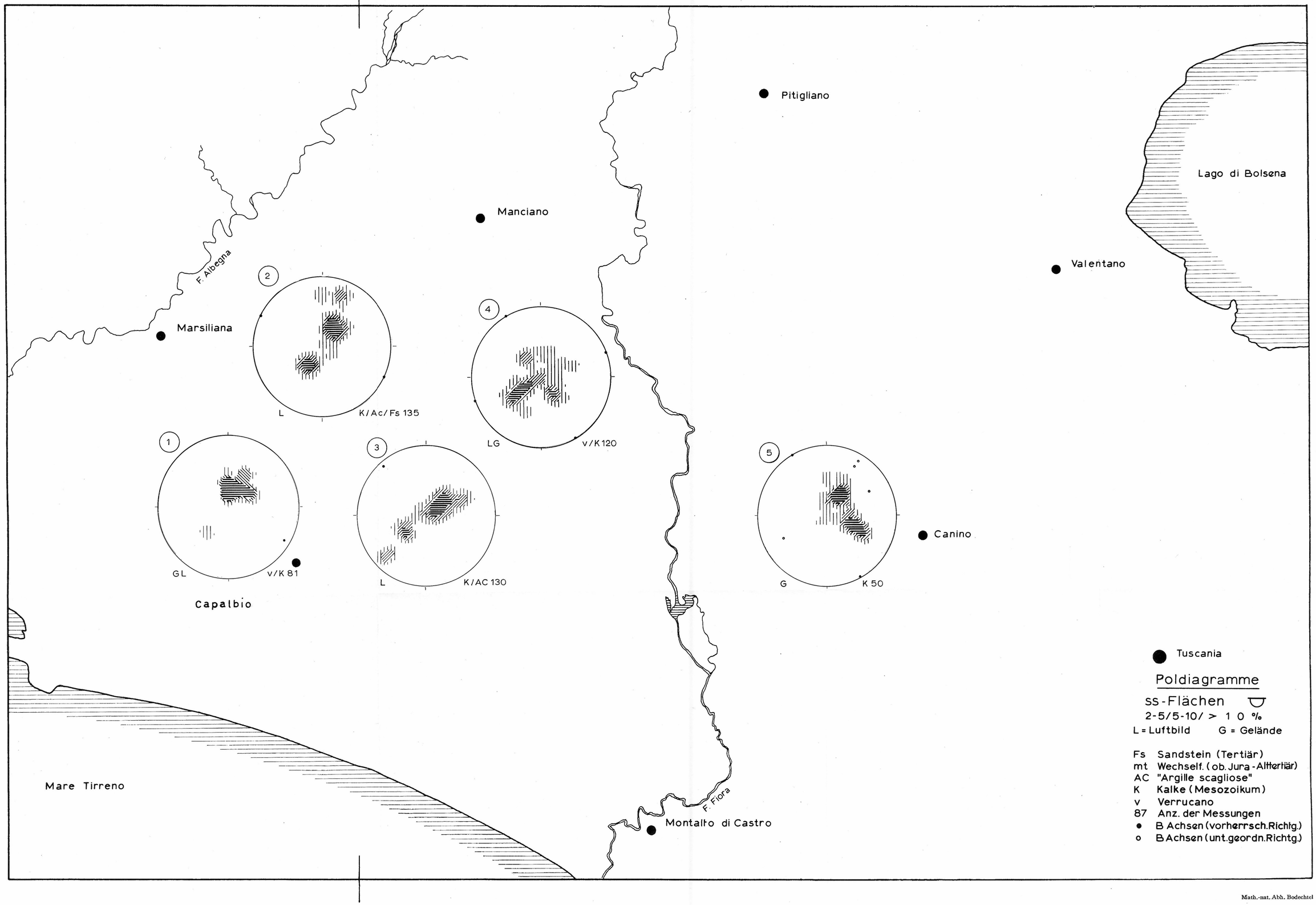
F. Fiora

Montalto di Castro

42°20'

0°30'

Math.-nat. Abh. Bodechtel


Pitigliano
Lago di Bolsena
Valentano
Manciano
F. Albegna
Marsiliana
2
L
K/Ac/Fs 135
4
LG
v/K 120
1
GL
v/K 81
3
L
K/AC 130
5
G
K 50
Canino
Capalbio
Mare Tirreno
F. Fiora
Montalto di Castro
Tuscania
Poldiagramme
ss-Flächen
2-5/5-10/ > 10 %
L = Luftbild G = Gelände
Fs Sandstein (Tertiär)
mt Wechself. (ob. Jura - Alttertiär)
AC "Argille scagliose"
K Kalke (Mesozoikum)
v Verrucano
87 Anz. der Messungen
• B Achsen (vorherrsch. Richtg.)
o B Achsen (unt. geordn. Richtg.)

Klüfte und Störungen
M.: 1:100.000

42°40'

0°30'

Pitigliano

Lago di Bolsena

Valentano

Manciano

F. Albegna

Marsiliana

Canino

Capalbio

Tuscania

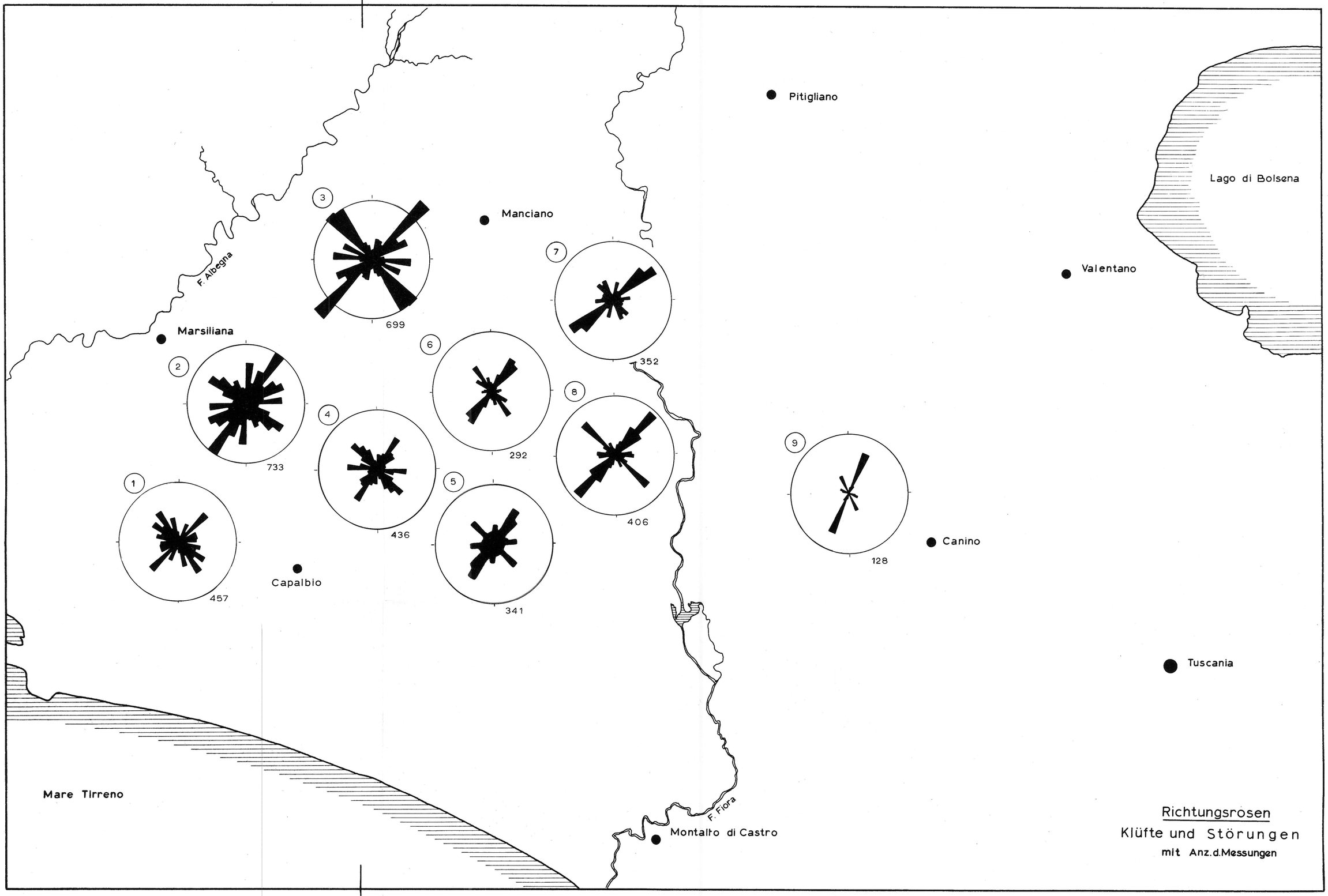
Mare Tirreno

F. Fiora

Montalto di Castro

42°20'

Math.-nat. Abh. Bodechtel


Pitigliano
Lago di Bolsena
Valentano
Manciano
F. Albegna
Marsiliana
3
699
7
352
2
733
6
292
8
406
4
436
9
128
1
457
5
341
Canino
Capalbio
Tuscania
Mare Tirreno
F. Fiora
Montalto di Castro
Richtungsrosen
Klüfte und Störungen
mit Anz.d.Messungen

Faltentektonik
M.: 1:100.000

42°20'

0°30'

Lugnano

Amelia

R. Grande

F. Nera

Orte

F. Tevere

Narni

TERNI

Calvi

Contigliano

RIETI

F. Velino

42°40'

42°20'

0° 30'

Lugnano

Amelia

R. Grande

F. Nera

Orte

F. Tevere

Narni

TERNI

Calvi

Contigliano

1
LG K 115

2
LG K/mt 130

3
GL K 96

4
GL K 123

5
G K 105

Poldiagramme

ss-Flächen

2-5/5-10/ > 10 %

L = Luftbild G = Gelände

Fs Sandstein (Tertiär)
mt Wechself. (ob. Jura - Alttertiär)
AC "Argille scagliose"
K Kalke (Mesozoikum)
v Verrucano
87 Anz. der Messungen
● B Achsen (vorherrsch. Richtg.)
o B Achsen (unt. geordn. Richtg.)

Klüfte und Störungen
M.: 1: 100.000

42° 40'

0° 30'

Lugnano

Amelia

R. Grande

Narni

TERNI

F. Nera

Orte

F. Tevere

Calvi

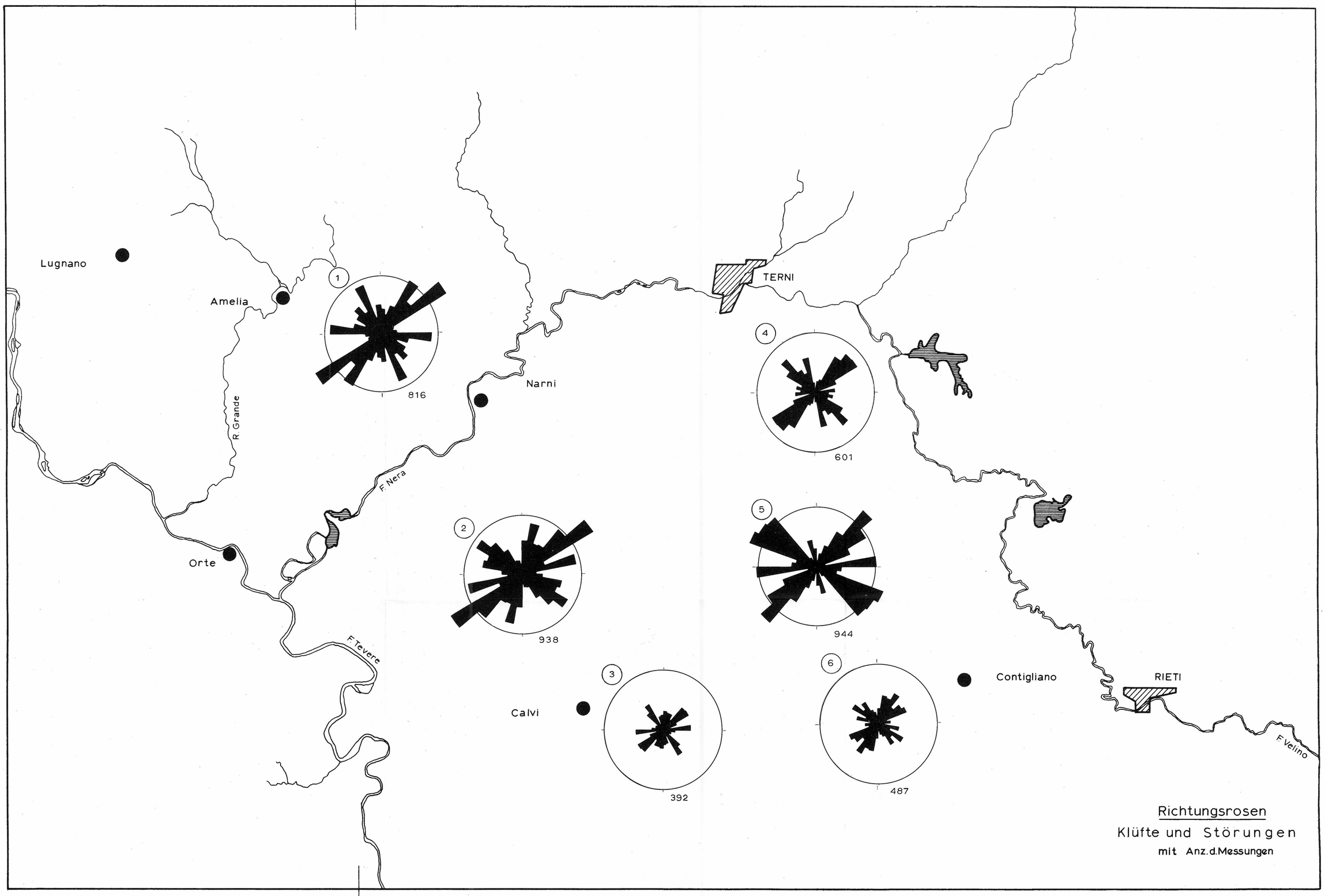
Contigliano

RIETI

F. Velino

42° 20'

0° 30'


Lugnano
Amelia
R. Grande
F. Nera
Orte
F. Tevere
Narni
TERNI
Calvi
Contigliano
RIETI
F. Velino
1
816
2
938
3
392
4
601
5
944
6
487
Richtungsrosen
Klüfte und Störungen
mit Anz. d. Messungen