

Der ophiolithische Magmagürtel in den Kettengebirgen des mediterranen Systems

von

Prof. Dr. Franz Kossmat

in Leipzig

Mit einer Kartenskizze und einer Lichtdrucktafel

Sonderausgabe aus den Sitzungsberichten
der Preußischen Akademie der Wissenschaften
Phys.-math. Klasse. 1937. XXIV

Berlin 1937

Verlag der Akademie der Wissenschaften

in Kommission bei Walter de Gruyter u. Co.

(Preis *R.M.* 1.50)

Im Gegensatz zu Mitteleuropa, dem mesozoischer Vulkanismus gänzlich fehlt, durchzieht ein breiter Gürtel basischer Eruptivmassen der mesozoischen Zeit die Kettengebirge des südlichen Europa und des zentralen Asien. Von den mehr sporadisch verteilten Ausbruchstellen der Pyrenäenhalbinsel läßt sich ein weithin geschlossenes Verbreitungsgebiet durch den ligurischen Apennin und die tyrrhenischen Inseln in die penninische Region der Westalpen verfolgen und knüpft durch die Vorkommenisse der Ostalpen an die dinarischen Gebirge der inneren Balkanhalbinsel an, wo es die mächtigste Entfaltung erreicht. Die weitere Fortsetzung geht durch die ägäische und anatolische Region über Hocharmenien und das innere Iran zum Himalaya, wo sie besonders in Kleintibet (Ladak) festgestellt wurde. Weitere Fixpunkte zeigt die geologische Karte von Birma und dem Sundaarchipel, womit die Einmündung in das pazifische Gebiet erreicht ist. In dieser ungeheuren Erstreckung bewahrt dieser Magmagürtel eine auffallend einförmige petrographische und strukturelle Beschaffenheit, die unter dem Namen Ophiolithgürtel oder Zone der grünen Gesteine zusammengefaßt wird. Zu den leitenden Gesteinen gehören besonders Ergüsse von Diabasporphyriten und Melaphyren, die oft die charakteristische Beschaffenheit von Kissenlaven haben und von sandig-tonigen, z. T. tuffitischen Flyschablagerungen begleitet werden. Als plutonische Massen treten Gabbros in ihren mannigfachen Ausbildungsarten auf, die häufig zu feldspatfreien Peridotiten und deren serpentinischen Umwandlungsprodukten führen. In ihrer Art sind diese Eruptiva ebenso bezeichnend für die erwähnte tektonische Region wie beispielsweise der Andesitgürtel für den andinen Rand der pazifischen Umwallung¹.

Die Ophiolithe des westlichen Mittelmeergebietes und der Westalpen.

Im Keuper Spaniens und des algerisch-marokkanischen Anteiles der Kettengebirge sind an zahlreichen Stellen Nester oder Stöcke der Ophiolithe bekannt und scheinen in der Hauptsache so eng mit der oberen Triasformation verbunden, daß sie nahezu als gleichaltrige Eruptionen betrachtet werden. Allerdings wurden in der

¹ G. Steinmann, Die ophiolithischen Zonen in den mediterranen Kettengebirgen, C. R. XIV. Congr. géol. internat., Madrid 1926, S. 637.

betischen Kordillere Durchbrüche auch im Lias beobachtet. In den Pyrenäen bilden hierhergehörige Gesteine, von denen Peridotite besonders typisch sind, auffallende Gänge und Stöcke. Sie durchbrechen Trias und werden von oberer Kreide diskordant überlagert, fügen sich also in ein Alterschema, dem wir auch weiterhin begegnen werden¹.

Die mesozoischen Eruptivgesteine der Pyrenäen umfassen nach neueren Untersuchungen zwei Typen, die meist zusammengeworfen werden, aber nach ihrem Alter und Vorkommen zu trennen sind:

1. Die Ophite sind vorwiegend Lherzolithe = Diallag — Bronzit — Peridotite. Sie treten in lakkolithischen Formen auf und reichen nicht über den Infralias hinaus.

2. Die »Episyenite« (Teschenite und Basalte = aus der Familie der Alkalibasalte). Sie erscheinen als geringermächtige Durchbrüche in allen mesozoischen Schichten bis zur oberen Kreide. Diese Zweigliederung scheint auch für die ganze Pyrenäenhalbinsel zu gelten.

Vgl. Viennot: Les conditions de gisement des roches eruptives secondaires, Bull. Soc. géol. de France vol. XXVIII, p. 562, Paris 1929. Vgl. dazu Lamare, C. R. G. S. F. 2/3, 1931. Lamare: Recherches géologiques dans les Pyrénées Basques d'Espagne, Mémoires de la Société géologique de France, nouvelle Serie, Tome XII, Mémoire Nr. 27, Paris 1936, S. 442.

Die Anknüpfung an die Apenninenhalbinsel ist durch grüne Gesteine des östlichen Korsika² sowie Elbas³ gegeben und entwickelt sich auf dem italischen Festland zur breiten Flyschzone des ligurischen Apennin. Durch lange Zeit wurden diese Eruptiva und ihre sedimentären Begleiter für Tertiär gehalten, bis es Sacco gelang, in dem ligurischen Flysch Inoceramen, Turriliten, Ptychoduszähne u. a. zu finden⁴. Damit hörte die Auflagerung auf dem Eozänflysch von Toskana auf, stratigraphisch beweisend zu sein. In tektonischer Beziehung war aber entscheidend die Beobachtung Steinmanns, daß die toskanische Serie durch eine Überschiebung großen Stils von der auflagernden ligurischen Flyschserie getrennt wird. Für letztere sind außer den erwähnten Funden die Ophiolithe, Radiolarien-Kieselgesteine und hornsteinführende Kalke mit lamellosen Aptychen bezeichnend, die dem oberen Jura oder dem Neokom zuzuweisen sind und nach Steinmann eine Tiefseefazies darstellen. Damit ist für die genannten Eruptiva eine geologische Stellung zugewiesen, die auch im übrigen

¹ A. Wurm, Beiträge zur Kenntnis der iberisch-balearischen Triasprovinz, Verh. d. naturhist.-med. Vereins zu Heidelberg, XII. Bd, 1913. Die ophiolithischen Diabasdurchbrüche Spaniens und Nordwestafrikas treten pfropfenartig im Kern von Antiklinalaufbrüchen des Gips und Salz führenden Keuper auf und erinnern dadurch in mancher Beziehung an die Ejektivsättel Hannovers. Das Eruptivgestein scheint sich teilweise im festen Zustand oben Platz gemacht zu haben.

² P. Termier et E. Maury, Nouvelles observations dans la Corse orientale, Les Radiolaires, C. R. Acad. des Sciences, vol. 186, p. 1077, Paris 1928.

³ P. Termier, Sur la Tectonique de l'Isle d'Elbe, Bull. Soc. géol. de France, vol. X, Paris 1910, p. 143.

⁴ F. Sacco: Les Formations ophitiferes du Crétacé. Bull. Soc. Belge de Géologie, Bruxelles 1905.

Verbreitungsgebiet eine maßgebende Rolle spielt. Im Faltenwirbel von Savona verbindet sich die ligurische Zone der grünen Gesteine mit den Westalpen, wo sie innerhalb der vom Briançonnaisbogen und dem Rhonelängstal begrenzten penninischen Region auf weite Strecken hin leitend ist.

Die typischen Profile der Tessiner Alpen zeigen in der Regel als Hülle der Gneiskerne und der in ihren Randpartien erhaltenen Reste von Triasdolomit eine mächtige Hüllschieferentwicklung, die sogenannten Bündner Schiefer oder Schistes lustrés, die nach spärlichen Fossilfunden im helvetischen Gebiet wahrscheinlich größtenteils dem Lias zuzuweisen sind. Sie durchmischen sich mit metamorphen Grünschiefern, gabbroiden Linsen und anderen basischen Gesteinen. Besonders markant entwickelt ist dieses System im Bereich der Dent Blanche-Decke, zu deren östlichem Gegenflügel die Plattadecke gehört. Funde von Aptychenschichten und Radiolarien-Kieselschiefern bestätigen, daß es sich um ein Äquivalent der ligurischen Ophiolith-Radiolaritserie handelt. Die weitere Fortsetzung gegen Osten führt in die Schuppenzone von Arosa, die man bereits als Unter-Ostalpin bezeichnet, aber vielleicht besser als tektonische Mischung von oberstem Penninikum mit unterem Ostalpin auffassen kann. Für die letztere Deutung tritt R. Staub¹ ein. Es handelt sich hier um das Grenzgebiet zwischen Ost- und Westalpen in Graubünden (Grisoniden). Die Wurzelzone ist nicht weit zu suchen: Es läuft am Nordrand der Zone von Ivrea ein Zug von Serpentin, Peridotiten, Prasiniten nach Westen bis Levone². Damit steht in gutem Einklang der Verlauf der positiven Schwereanomalien, die auf eine basische Tiefe der Grisoniden-Wurzel hinweisen. Die Radiolarite fehlen naturgemäß der plutonischen Zone im allgemeinen, und man ist hier in der Hauptsache auf die tektonischen Beziehungen angewiesen.

Anmerkung: Die Schwierigkeiten, die sich der sicheren Altersbestimmung ophiolithischer Gesteine entgegenstellen, sind mannigfacher Art und oft noch größer als bei anderen Eruptivbildungen. Abgesehen davon, daß der Verband mit gleichaltrigen Sedimenten oder wenigstens die Alterseinengung zwischen durchbrochenen Schichten und aufgelagerten Decksedimenten an und für sich bei vulkanischen und plutonischen Gesteinen in vielen Fällen wegen zu lückenhafter Schichtfolge unbestimmbar bleibt, kommen bei den Ophiolithen noch manche Erschwerungen hinzu. Zu diesen gehören, besonders bei den Peridotiten und Diabasen, die geringfügigen Kontaktwirkungen, die noch dazu bei den in diesen Gesteinen häufigen Gleitvorgängen leicht verwischt werden. Erleichtert wird manche Altersbestimmung durch den tektonischen Zonenverband mit stratigraphisch fixierbaren Vorkommen im gleichen Gebirge. Ebenso läßt sich meist auch nachweisen, daß in erloschenen Gebirgssträngen (z. B. kaledonisch, variskisch) die Ophiolithe einer zugehörigen Magmaphase entsprechen. Wo allerdings Schollen der alten Gebirge in die junge Faltung hineingearbeitet sind, wie dies in den zentralen Alpentteilen der Fall ist, wird es beim

¹ Staub, R., Bau der Alpen, Zürich 1922, S. 92—97.

² Staub, R., Ebendort, S. 151—155.

Fehlen direkter oder indirekter stratigraphischer Hinweise schwerfallen, zu entscheiden, ob ihre Ophiolithe dem älteren oder jüngeren Zyklus angehören.

Spärlicher als in den Westalpen sind die ophiolithischen Gesteine in den Ostalpen. Besonders herauszuheben sind hier die Vorkommnisse von Amphiboliten und Serpentin in den Hohen Tauern, wo sie an verschiedenen Stellen von granodioritischem Zentralgneis und Tonalit umschlossen werden¹.

Leider fehlen hier stratigraphische Hinweise auf das Alter. Dies gilt auch von den Serpentinvorkommnissen in den steirischen Zentralalpen bei Kraubat (chromitführend) und von dem Serpentin bei Bernstein im steirischen Burgenland. Bemerkenswert ist auch der Umstand, daß inmitten der Werfener Schiefer am Ostflügel der Neuen Welt bei Wiener-Neustadt ein typisches Serpentinvorkommen zutage tritt und daß auch die Flyschzone nicht frei von solchen ist. Bestätigt sich die Annahme, daß die Ophiolithe der Ostalpen die Verbindung zwischen Westalpen und dinarischem System herstellen, dann würde mesozoisches Alter für sie wahrscheinlich sein. Die auffallende Tatsache, daß es sich um mehr sporadische Vorkommnisse handelt, würde sich dadurch erklären, daß in den Ostalpen das vorgosauische Denudationsniveau tief hinabreicht. Damit würde stimmen, daß in den unteren Gosauschichten exotische Gerölle basischer Gesteine, z. B. in der Neuen Welt, weit verbreitet sind. Vielleicht darf man die Verbreitung der Radiolaritfazies des Jura in den östlichen Alpen mit als indirekten Hinweis auf die Nachbarschaft der mesozoischen Ophiolithprovinz betrachten. Die fast regelmäßige Verknüpfung der jurassischen Radiolarien-Kieselschiefer mit der letzteren braucht nicht bloß mit der Meerestiefe zusammenzuhängen, sondern kann auch durch einen besonderen Chemismus begünstigt sein. Bei submariner Serpentinisierung der Peridotite müssen große Mengen von Kieselsäure frei werden, die sich in gallertigem Zustand über weite Teile der angrenzenden Meeresbecken verteilen und einen entsprechenden Reichtum an kieselabsondernden Organismen bedingen. So erklären sich wohl die Radiolarite der Tiroler Kalkalpen und des Isonzgebietes als Ablagerungen eines Meeres, das den westalpinen großen Abschnitt der Ophiolitheruptionen mit dem ähnlichen der dinarischen Gebirge verband.

Die Ophiolithzone in den Dinariden.

Erst mit dem Eintritt der Alpen in die Umrandung der pannonischen Innensenke stellt sich in der nordbosnischen Flysch- und Serpentinzone eine breite Entwicklung der Ophiolithformation ein, die an ihr ligurisches Seitenstück auf der anderen Adria-seite erinnert. Außer basischen Eruptionen plutonischer und effusiver Art sind rote und graue Radiolarite (Jaspise), plattigscherbige Hornsteinkalke, grünlichgraue Tuffite und Flyschmergel oder Sandsteine die leitenden Ablagerungen². Als zu-

¹ F. Becke, Führer zu den Exkursionen in den zentralen Hohen Tauern. XII. internat. Geol. Kongr., Wien 1903.

² F. Katzer, Geolog. Führer durch Bosnien und die Herzegovina, XII. internat. Geol. Kongr., Sarajevo 1903.

sammenhängender Gürtel queren sie eine Reihe von Zuflüssen der rechten Save-Seite: so die Una, den Vrbas, die Bosna und Drina. Die Orte Stari Maidan, Banyaluka und Višegrad bezeichnen ungefähr den Verlauf der Südgrenze. Im Norden schließt sich die Tertiär-Quartär-Füllung des pannonischen Beckens an, aus dem entlang der Save einige kristalline Inselberge aufragen. Der von Serpentin durchbrochene, von Gosau überlagerte Gneiskern der Fruška Gora bildet ein auffallendes Glied dieser Reihe. Nach F. Katzer liegt auch im Krivačagebiet fossilreiche Actaeonellenkreide auf den Gesteinen der Serpentin-Flysch-Serie, ebenso wie der mitteleozäne Nummulitenkalk stets erst in deren Hangendem als transgressives Schichtglied auftritt.

In Westserbien ist ebenso wie in Bosnien das Alter der Ophiolithe sicher vor-tertiär und wird durch die Gosaudiskordanz hier sowohl wie in den übrigen Balkanländern weiter eingeengt. Nicht einheitlich ist dagegen anscheinend die untere Altersgrenze. Nach den geologischen Aufnahmen von Kittl ist im Plateaugebiet der Romanja Planina nordöstlich von Serajevo die Schichtfolge der Trias geschlossen bis in die Dachsteinkalke mit Megalodonten entwickelt¹. Erst über den letzteren sind die östlichen Ausläufer der nordbosnischen Serpentin-Flysch-Region in Muldenresten erhalten, so daß für sie als Alter nur Jura bis Unterkreide übrigbleibt, was mit den Ergebnissen im alpinen Verbreitungsgebiet übereinstimmt. Auch Katzer kam im allgemeinen zu den gleichen Folgerungen. Jedoch scheint es Ausnahmen zu geben, wenn man in den Bereich der ladinischen Eruptionen kommt. Dazu gehört das Vorkommen von »Pietra verde« bei Čevlanovič und vielleicht auch das von Olovo, wo Serpentine, Melaphyre und Diabase als Einlagerungen zwischen Muschelkalk und oberer Trias angegeben werden.

Weit abseits von diesen Vorkommnissen liegt der Durchbruch von Noriten in den ladinischen Schichten der Umgebung von Budua in Süddalmatien. Zu erwähnen wäre auch der Gabbrostock von Jablanica an der Narenta, der Werfener Schiefer und Triaskalke verändert. Bemerkenswert sind vor allem die Kontaktlagerstätten von pyrithaltigem Magnetit, die ich im Ramatal untersuchen konnte. Sollte allerdings der Durchbruch hier noch die Dachsteinkalke betreffen, was nur durch genaue Aufnahme dieses ganzen Gabbrokernes festgestellt werden könnte, dann würde für ihn wahrscheinlich das gleiche Alter gelten wie für die Erosionsreste der Ophiolithe auf der Romanja Planina.

Es bieten also die Eruptivbildungen Bosniens und der Herzegovina noch manche Probleme, die eine genaue Überprüfung verlangen. Das gleiche gilt besonders von dem gewaltigen Gabbro-Peridotit-Massiv des Zlatibor in Westserbien, östlich des Drinatales. Ampferer und Hammer, die dieses Gebiet untersuchten, kamen zur Anschauung, daß hier, von paläozoischer Zeit angefangen bis in den Jura, wiederholte Eruptionen gleichartiger Gesteinstypen erfolgten. Nach meiner Ansicht bedarf aber diese Annahme noch der Überprüfung, besonders im Hinblick auf die Verhältnisse in dem benachbarten Distrikt von Novipazar.

¹ Kittl, Geologie der Umgebung von Serajevo, Jahrbuch der geol. R. A., Wien 1903.

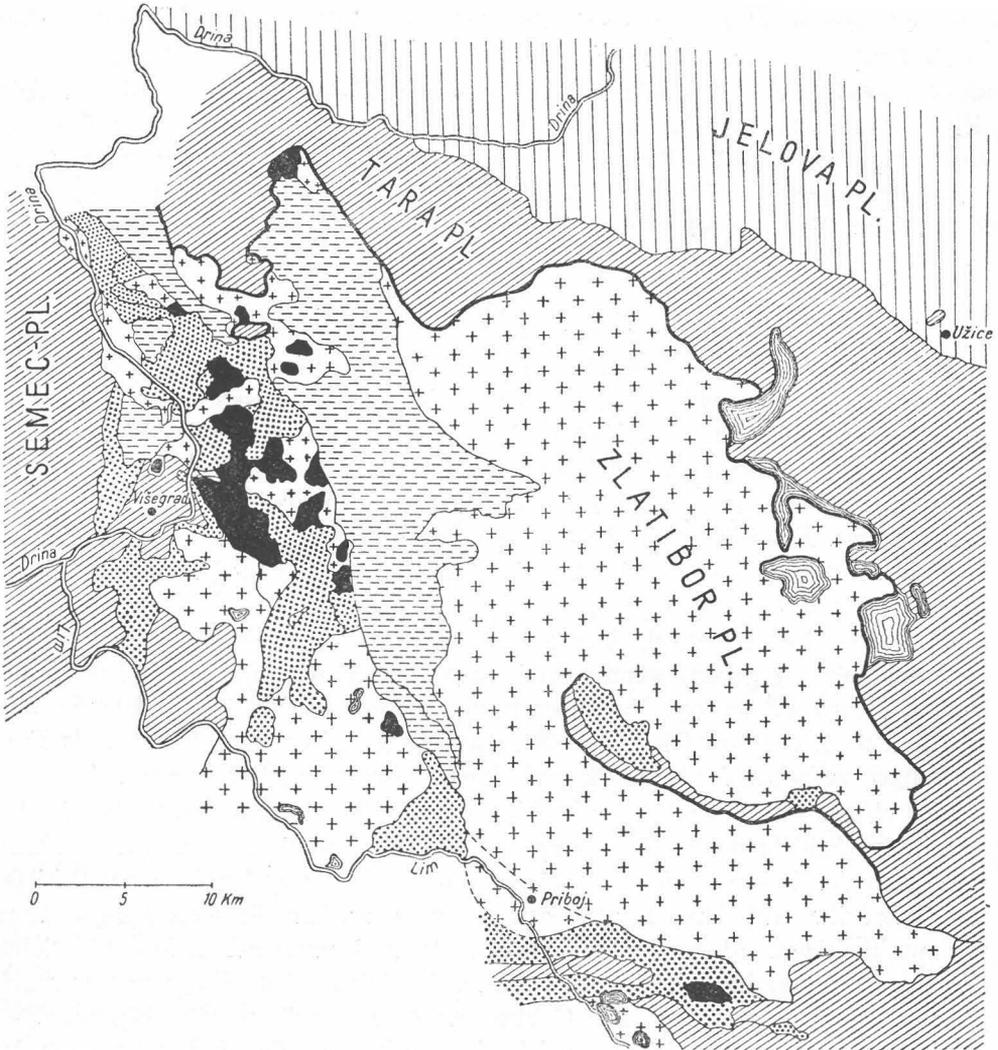


Fig. 1. Skizze des Zlatiborgebiets. Vereinfacht nach O. Ampferer und W. Hammer (Denkschriften der Akademie Wien 1921).

Weit, vertikal schraffiert: Paläozoischer Schiefer.

In geringerem Abstand schräg schraffiert: Trias (meist Kalk).

Wellige Striche: Schuppen von metamorphem Phyllit. Mit Kreuzchen: Peridotit.

Grob punktiert: Diabas-Hornsteinschichten.

Horizontal gestrichelt: Transgredierende Gosauschichten.

Der Peridotit des Zlatibor selbst wird von ihnen als ein paläozoischer Intrusivkörper¹ aufgefaßt, der nach Abtragung seiner Hüllgesteine auf der Südwestseite

¹ O. Ampferer und W. Hammer, Ergebnisse der geologischen Forschungsreisen in Westserbien. I. Die basischen Intrusivmassen. II. Die Diabas-Hornstein-Schichten, Denkschr. d. Akad. d. Wiss., Math. u. nat. Kl., Wien 1921.

von Werfener Schiefer und »Diabas-Hornstein-Schichten« überdeckt und auf der Nordostseite von den Kalken der oberen Trias begrenzt wurde. Es läßt sich aber nicht leugnen, daß diese Erklärung nicht restlos befriedigen kann. Die Diabas-Hornstein-Schichten des Südwestrandes zeigen nach den beigegebenen Profilen eine rasch wechselnde Zerlegung (vgl. Fig. 2, 7, 8 in A. H. I), die eine Störungszone verrät und nicht nach einer sedimentären Wechsellagerung von Diabas und Schiefer aussieht, welche den Werfener Schichten der beiderseitigen äußeren Plateauränder völlig fehlt. Auffallend ist auch der Umstand, daß der Rand des Triaskalkes entlang der ganzen Nordostgrenze des Zlatibor-Massivs nirgends ein Transgressionskonglomerat zeigt, sondern durch Dislokationen gegeben ist, die in der Regel durch eine schmale Schuppenzone von wechsellagernden Granatamphiboliten und Phylliten von der Peridotitmasse abgetrennt sind. Viel einfacher ist hier die Erklärung, daß der Stock des Zlatibor ursprünglich in eine von paläozoischen Schiefen unterlagerte Triasdecke eindrang und dabei paläozoische Chlorit-schiefer zu Granatamphibolit im engen Kontakt veränderte. Bei den späteren Faltungenprozessen wurde eine Phyllitisierung der paläozoischen Basis sowie eine Überschiebung des nördlichen Kalkrandes bewirkt und ebenso der südliche Rand in Schuppen aufgelöst.

Was die Diabas-Hornstein-Schichten anbelangt, haben Ampferer und Hammer die Auffassung, daß je eine untere (im Werfener Schiefer einzureihende) und eine obere, zur jüngeren Trias gehörige Gruppe, auszuscheiden sei. Beide zeigen völlig gleichartige Beschaffenheit. Man darf wohl nach den Erfahrungen im Nachbargebiet die Frage aufwerfen, ob eine untere Gruppe existiert oder ob sie durch tektonische, vielleicht z. T. lakkolithische Verschuppung mit Werfener Schiefer am südwestlichen Massivrand vorgetäuscht wird.

Ich komme zur Auffassung, daß der Peridotitstock des Zlatibor nachpaläozoischen Alters ist und entweder in oder nach der oberen Trias eindrang.

Es fehlen mir leider Beobachtungen am Zlatibor selbst, wohl aber konnte ich bei der Annäherung von Osten feststellen, daß die mesozoische Kalkplatte in der Richtung von Novavaros gegen das am südlichen Hang dieses Massivs gelegene Gebiet von Priboj eine Absenkung des Achsengefälles zeigt, demzufolge der Kalk unter die Ergüsse und Sandsteine der Diabas-Hornstein-Schichten taucht. Nur einige im dinarischen Sinne nach Südwest gedrängte Trias-Jura-Schuppen ragen aus letzteren empor. Dazu gehört der Keil von Megaloduskalk an der Burgruine östlich von Prijepolje, ferner die Zlatar Planina, deren Dachsteinkalke auf dem Nordostflügel normal unter die Diabas-Hornstein-Schichten der Mulde von Novavaros einfallen. Der Übergang in letztere ist durch Hornsteinkalke zu verfolgen, ebenso die nordöstliche Schichtneigung, die erst mit der Annäherung an den Ort in Südwestfallen übergeht und schließlich überkippt unter die nächste Kalkschuppe am nördlichen Talgehänge taucht¹. Ich kann mir die gegensätzliche Deutung (als

¹ F. Kossmat: Gebirgsbau und Landschaft im Umkreis von Novipazar, Ztschr. d. Ges. f. Erdk., Berlin 1916.

»untere« Diabas-Hornstein-Gruppe) von Ampferer und Hammer nur so erklären, daß sie vom Intrusivmassiv her kamen, dessen Peridotitkern scheinbar vom Triaskalk transgressiv überlagert wird, in Wahrheit aber an einer Überschiebung untertaucht.

Anmerkung: Bei der Querung der Zlatar Planina sah ich auf der stark gefalteten Südwestflanke dieses Gebirgszuges rötliche Knollenkalke, die mich an die rote Ammonitenfazies des Jura erinnerten; zum Fossiliensuchen fehlte es an Zeit. Einer Exkursion der Belgrader Universität, die später in das Gebiet kam, glückte in diesen Schichten die Auffindung einer Muschelkalkfauna vom Typus der bosnischen Han Bulog-Kalke (mit Monophylliten, Gymniten, Sturien etc.). Zivkovič, M., Le Trias moien de la montagne de Zlatar, Ann. geol. de la Penins. Balk., Tom. X, Beograd 1931.

Die hellen Ober-Triaskalke des Zlatargebirges sind also nicht über den Jura überkippt, wie ich annahm, sondern haben regelrechten Schuppenbau, der mit einer Basis von mittlerer Trias aus den Diabas-Hornstein-Schichten durchsticht. Ähnlich dürfte das Profil der Jerina Gradina sein, das ich ebenfalls von Prijepolje aus besuchte.

Meiner Ansicht nach ist sowohl der Peridotit des Zlatibor als auch der dazugehörige Diabas des Limgebietes jung- bis posttriadisch. Damit verschwände der kaum erklärliche Gegensatz zu dem auch von Ampferer und Hammer als mesozoisch anerkannten Ibarmassivs, das beiderseits des Ibarflusses in der Talstrecke Mitrovica-Raška-Kraljevo eine über 60 km lange Massenförderung bildet, welche die paläozoische Kopaonikzone durchbrach und sillartig überlagerte. Sie tritt z. T. parallel, z. T. in dem Streichen des Zlatibor (nach Südost verlängert) zutage. Auch sie wird an ihrer Südwestgrenze streckenweise, so bei Novipazar, von diskordanter Gosau überlagert und von miozänem Trachyt durchbrochen.

Schlußbemerkung: Ich halte es für unbedingt nötig, daß die Altersfrage des Zlatibor einer sorgfältigen Überprüfung unterzogen werde. Das Gebiet ist von der bosnischen Ostbahn bei Višegrad und Rogatica leicht zugänglich und erschließt die prächtigsten geologischen Landschaften, besonders im Limgebiet bei Prijepolje. Da es von A. und H. geologisch kartiert wurde, kann eine Revision sich sofort auf die kritischen Fragen erstrecken, die um so dankbarer sind, als es nur wenige Gegenden gibt, die Einblick in die autochthone Tektonik größerer Peridotitmassen gestatten. (Siehe Tafel.)

Fortsetzung der Ophiolithformation durch die Balkanhalbinsel.

Der Diabas-Hornstein-Zug ist inmitten der Karstplatte südlich des oberen Uvaclaufes bei Sjenica ohne Unterbrechung zur Mokra Planina am Nordrand des limnischen Neogenbeckens zu verfolgen und wurde von mir wiederholt an verschiedenen Stellen gequert. Die Profile erinnern an Kittls Beschreibung der Romanja Planina und zeigen gleichfalls Muldenbau. Besonders lehrreich ist die Gegend von

Hrasno, wo etwa ein Dutzend km südöstlich von Sjenica der helle Dachsteinkalk des Plateaurandes dezimetergroße Megalodonten führt und von dem dunklen Diabas-Hornstein-Komplex flach überlagert wird; auch einige Serpentinblöcke sind zu beobachten. Man kann bei der Gleitfähigkeit dieses Gesteins nicht immer unterscheiden, was autochthon und was überschoben ist. Wichtig bleibt aber hier und in den Ibarprofilen bei Ribarič, daß der äußere Triasschichtkopf frei von diesen Einschaltungen bleibt — ganz wie in der Romanja Planina.

Südlich des oberen Ibartales hebt sich die Ophiolithmulde heraus und macht dem Triaskalk der Mokra Planina Platz. Nun tritt der Serpentinzug von Raška–Novipazar–Mitrovica, der bisher die Mulde von Prijepolje–Sjenica–Hrasno als Intrusionmasse im paläozoischen Kopaonikgewölbe begleitete, nach außen vor und bildet die von Kerner¹ untersuchte nordalbanische Serpentinlandschaft östlich des Valbonaflusses. Damit vollzieht sich der Anschluß an die von Nopcsa^{2 3} beschriebene Merdita, deren Peridotite, Serpentine und Gabbros nach Westen beinahe bis Skutari reichen und hier als ein quer zu den Kreide-Eozänfalten vorragender Sporn enden. Unter dem Serpentin der Merdita-Schubdecke kommen, transversal nach NW geschuppt, Fenster von Mylonitschiefer, Eozänflysch, Diabas-Hornstein-Schichten und Trias-Jura-Kalk zum Vorschein. Beim weiteren Verlauf durch Mittelalbanien erweist sich die Serpentinmasse immer deutlicher als eine weit über Kreidekalk und Eozänflysch der adriatisch-jonischen Zone vorgetriebene Platte, deren Außenrand im Quellgebiet des Skumbiflusses, westlich des Ochridasees, fast 20 km als Halbfenster ausgeräumt ist^{4 5}.

Bezeichnend ist für Albanien ebenso wie für das Limgebiet und Novipazar die Diskordanz der Oberkreide (in Gosaufazies) auf dem Serpentinrelief, ein Gegensatz zum Normalprofil der Karstkalke in den autochthonen Küstenfalten. Dieser schon aus Bosnien bekannte Gegensatz hält auch in Mittelgriechenland an, wo Renz die Serpentin führende Serie als nachtriadische Folge über Dachsteinkalk, diskordant von Oberkreide überdeckt, feststellte⁶.

Im Othrysgebirge fand sich transgredierend über der Ophiolithserie eine fossilreiche Ablagerung des Cenoman, aus dem von Hackemesser eine reiche Korallenfauna in vorzüglicher Erhaltung beschrieben wurde. (Eine kretazische Korallenfauna aus Mittelgriechenland. Paläontographica 1936.)

¹ F. v. Kerner, Bericht über eine geologische Forschungsreise in Albanien, Anzeiger der Akad. der Wiss., Math.-nat. Kl., Wien, Dez. 1916.

² F. Baron Nopcsa, Zur Geologie des Vilayets Skutari in Albanien, Jahrb. der Geol. R. A., Wien 1911.

³ Nopcsa u. Reinhart, Zur Geologie und Petrographie des Vilayets Skutari, Ann. Instit. geol. București, Vol. V.

⁴ J. Bourcart, Les confins Albanais administrés par la France 1916—1920, Revue de Géographie, vol. X, Paris 1922.

⁵ E. Nowack, Zur Geologie des mittleren und oberen Albanien, Z. d. Deutsch. Geol. Ges., Monatsber. S. 248, Berlin 1920.

⁶ C. Renz, Geolog. Untersuchungen in den südthessalischen Gebirgen, Eclog. Geol. Helvet., vol. XX, 1927.

Die unter der osthellenischen Schubmasse liegende Olonos-Pindus-Zone des westlichen Griechenland ist dagegen frei von Serpentin und vermittelt den Übergang der Hochkarstzone des nördlichen dinarischen Gebirges in die adriatischen Küstentfalten der jonischen Region. Bloß an einer Stelle berichtet Nowack von einer Serpentininjektion im Eozänflysch¹. Es ist nicht ohne weiteres zu entscheiden, ob vielleicht eine tektonische Einschiebung im erkalteten Zustand vorliegt.

Die gleiche Frage gilt unter Umständen für die angeblich eozenen Serpentine des Bogens Kreta-Rhodos-Cypern. (Vgl. Renz, Geol. Voruntersuchungen auf Kreta. Praktika del Academie d'Athènes, 1930, Seite 271.)

Kehren wir zurück zur Stelle, wo der nordalbanische Merditazug von Mitrovica nach Skutari vordringt, so zeigt sich eine Gabelung der Serpentinaufschlüsse in eine Westreihe und eine Ostreihe. Zwischen beiden wölbt sich das Paläozoikum des Schar dagh mit seiner Triaskappe als nördlicher Ausläufer des kristallinen Massivs von Monastir-Prilep empor. Der östliche Serpentinergürtel ist fast geradlinig entlang der NNW-SSO laufenden Vardar-Störung² eingepreßt. Die Rudistschichten der Gosauablagerungen transgredieren über ihn weg, ebenso wie über seine kristalline Einfassung. Sie sind aber vor dem flachwellig gebauten Obereozän (Priabonastufe) eng gefaltet und geschuppt.

Die vorgosauische Ophiolithzone förderte außer Peridotiten und Gabbros auch das mesozoische Diabasgebiet von Hudova, dessen Ausläufer sich rund 40 km weit Vardar aufwärts erstreckten und dessen Ergüsse den breiten Raum zwischen dem Kalkplateau von Huma und dem Höhenzug des Plauš erfüllten. Die Eruptionen ereigneten sich vor Ablagerung der spätjurassischen Ellipsaktinien- und Nerineenschichten; sie endeten mit einer vortertiären Granitphase.

Die Eruptionsfolge Peridotit-Diabas ist nicht einwandfrei festgelegt: nach Ampferer und Hammer schließen die Diabas-Hornstein-Schichten Gerölle von Peridotit ein, der infolgedessen einem älteren Erstarrungsprodukt entsprechen soll. Nach meiner Ansicht, die mit der von Nopcsa stimmt, ist aber die Differentiation und Erstarrung der plutonischen Massen im allgemeinen jünger als die Effusion der Diabase.

Das Vorkommen von Serpentinergöllen in den klastischen Ablagerungen der Diabas-Hornstein-Gruppe ist nicht anders zu bewerten als jenes der Diabasgerölle. Es beweist nur, daß beide aus Eruptionen stammen, deren Erstarrungsprodukte vor Ende der klastischen Schichten dieser Serie umgeschwemmt wurden. Es fand überhaupt schon lange vor der Gosau eine starke Abtragung statt, die der Sedimentation der Radiolarite und Mergelkalke folgte, denn diese marinen Schichten leiten im Gebiet von Bosnien und Novipazar die Serie zwar ein, machen aber dann anderen Bildungen Platz. Die ganze Region wurde der Schauplatz ophiolithischer Tätigkeit und unterlag dann einer kontinentalen Abtragung, die bis auf die Triasbasis

¹ Nowack, l. c. S. 306 ff.

² Kossmat, Geologie der zentralen Balkanhalbinsel, Bornträger, Berlin 1922, S. 80—122.

ging. Man vergleiche z. B. die Gerölle von Serizitquarzit und phyllitischen Tonschiefern in den Sandsteinen der Serie, die summarisch als Diabas-Hornsteinsgruppe zusammengefaßt wird. Sie ist aber mannigfacher Fazies und stellt ein komplexes Gebilde der kimmerischen Bewegungs- und Ablagerungsphase dar.

Die meist serpentinisierten Peridotite der Vardar-Zone streichen östlich von Saloniki zum Golf aus und kommen auf den Inseln Euböa und Mytilene, sowie in Nordwestkleinasien zum Vorschein. Bezeichnend ist für sie, von Serbien bis Kleinasien^{1 2 3}, die Häufigkeit von Chromitnestern und von dichtem Magnesit.

Von sonstigen Erzen fällt nördlich von Veles ein Limonit-Pisolith an der Transgressionsbasis der Gosauschichten auf. Er enthält rund 50% Fe und einige Prozente Chromeisenerz, die aus dem verwitterten Serpentin stammen. Ampferer und Hammer haben eine ähnliche Erzablagerung im Liegenden der Gosau von Westserbien gefunden.

Fortsetzung der Ophiolithe durch Vorderasien und Zentralasien.

E. Nowack machte die Beobachtung, daß nördlich der paläozoischen Region des Elmadagh die Ophiolithzone mit den gleichen Merkmalen durchzieht wie in Südosteuropa. Sie ist im Erosionstal des oberen Kyzyl Yrmak ausgezeichnet aufgeschlossen und enthält in kalkigschieferigen Lagen sogar Aptychen, die auf oberen Jura hindeuten⁴. Die diskordante Überlagerung besteht aus Konglomerat und Flysch, der als vermutlich eozän bezeichnet wird. Da aber in geringer Entfernung südlich von Tscherkesch mächtige Gosauablagerungen mit Aktäonellen angegeben werden, die von Norden transgredieren, ist wohl die Vermutung erlaubt, daß auch in dieser Beziehung analoge Verhältnisse vorliegen wie auf der Balkanhalbinsel.

Interessante Feststellungen machte W. Paulcke während des Krieges im östlich anschließenden Gebirge von Hocharmenien⁵. Hier sind an zahlreichen Stellen, so besonders an der Strecke Ulu Kishla-Erzingan, große Serpentinmassen bloßgelegt, die von Radiolariten und Schieferen begleitet werden. Paulcke sieht sich erinnert an das ihm bekannte Gebiet von Graubünden; aber zweifellos wäre der Vergleich mit der Balkanhalbinsel genau so berechtigt. Die Analogie mit letzterer wird noch dadurch erhöht, daß nördlich des Serpentin-Hornstein-Gürtels von Hocharmenien sich das kretazisch-eozäne Effusivplateau von Trapezunt ausdehnt, dessen Porphyrite jenen der subbalkanischen Eruptivregion in hohem Grade entsprechen⁶.

¹ G. Hiebleitner, Geologie mazedonischer Chromeisenerzlagerstätten, Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch, Bd. 79, Heft 2, Wien 1931.

² Die größte Chromitproduktion weist Kleinasien mit den Lagerstätten Makri gegenüber Rhodos, Dagardi bei Brussa, Guleman im Taurusgebiet auf, F. Schumacher, Die bergbauliche Erschließung der Türkei, Ztschr. d. deutsch. geol. Ges., Berlin 1937, S. 319.

³ G. Hiebleitner, Zur Lagerstättengeologie des dichten Magnesits in Griechenland und Serbien, Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch, Bd. 82, Heft 1, Wien 1934.

⁴ E. Nowack, Die wichtigsten Ergebnisse meiner anatolischen Reisen, Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges., Monatsber. 8—10, S. 306—310.

⁵ W. Paulcke, Geol. Notizen aus meinem Kriegstagebuch, Geol. Rdsch. XV/1926.

⁶ F. Kossmat, Geologie des Erzdistrikts von Trapezunt, Mitt. der geol. Ges., Wien 1911.

Im Entwässerungsbereich des oberen Euphrat scheint der Hauptgürtel des Eruptivgebietes der Peridotite gewesen sein; dafür sprechen nicht nur die Beobachtungen von Paulcke in den armenisch-kurdischen Gebirgen, sondern auch die kurze Notiz von Kober¹, der das Taurussystem nur in der Umgebung von Zeitün berührte und auch hier bereits in den Randketten die Serpentinegesteine als wesentliches Merkmal im Gegensatz zur syrischen Tafel und deren Basalteffusionen hervorhob.

Die größte Bereicherung unserer Kenntnisse von der Verbreitung vorderasiatischer Ophiolithe brachten die in Zusammenhang mit erdölgeologischen Aufnahmen durchgeführten Untersuchungen von Böckh² und seinen englischen Mitarbeitern (Lees, Pilgrim u. a.). Es erwies sich das Schuppen- und Deckengebiet zwischen der autochthonen mesopotamischen Randzone des Irak und der stark zerbrochenen »inneren Masse« Persiens als ein Hauptgebiet der Serpentinverbreitung, das an jene Serbiens und Mazedoniens vielfach erinnert. Auch die stratigraphische Vergesellschaftung mit Radiolariten und transgredierender Gosau ist fast eine allgemeine (man vergleiche z. B. das Profil Kermanshah–Hamadan oder jenes westlich bis südlich von Saidulabad und das Zindongebirge).

Soweit die Einzelbeobachtungen reichen, scheinen die persischen Vorkommnisse altersgleich mit den anatolischen und balkanischen zu sein.

Verfolgen wir aber die asiatischen Gebirge ostwärts, so werden die Schwierigkeiten für die Feststellung der Zusammenhänge ihrer Eruptivbildungen erheblich größer. So fällt das von Hayden³ sorgfältig untersuchte Nordafghanistan aus dem Schema heraus: Die nachpaläozoischen basischen Porphyrite der Doab-Serie werden von den zur Angaraserie gehörigen Saighanschichten (Rhät-Jura) und den Red Grits der Mittelkreide überlagert, gehören also einer älteren Eruptivphase an als die spätmesozoische Ophiolithformation.

Andererseits stimmen auch die jüngeren basischen Gesteine Beludschistans in ihrem Alter mit letzteren nicht überein. Im Hangenden der Ammoniten führenden Maastrichtschichten der Oberkreide sind nämlich im Distrikt Rajamahendri den Cardita Beaumontibeds des Danien Tuffe und Ergüsse von basischen Eruptionen eingeschaltet, die in ihrem Alter den tieferen Lagen des Dekkantrapp besser entsprechen als den vorgosauischen Ophiolithen. In ihre Fortsetzung fallen augenscheinlich die »Trapps« des oberen Indus-Längstales von Ladak, die in neuerer Zeit von de Terra näher untersucht wurden. Besonders die Aufschlüsse im Drastale zeigen außer Ergüssen und klastischen Auswürflingen diabasischer Natur auch Gabbros und Peridotite⁴, nähern sich also in dieser Beziehung dem europäischen

¹ L. Kober, Akademischer Anzeiger. Wien, Math.-nat. Kl., Okt. 1910.

² J. Böckh, im Werk von J. W. Gregory, The structure of Asia, London 1929.

³ H. Hayden, Geology of Northern Afghanistan Memoirs Geol. Survey of India, Vol. XI, 1911.

⁴ H. de Terra, Physiographic Results of a recent Survey in Little Tibet, The Geographical Review, vol. XXIV, No. 1, January 1934, p. 12—41. — H. de Terra, Geological Results of North India Expedition, Yale University Connecticut, Mass. 1935. — C. Diener, Notes on the Geological Structure of the Chitichun region, Memoirs of the Geological Survey of India, vol. XXVIII, Pl. 1, 1898. — C. Diener, Die Faunen der tibetanischen Klippen von Malla

und vorderasiatischen Typus. Dazu gehört auch die starke Verknüpfung mit Deckentektonik, die in den Klippen von Chitichun und Malla Johar ihren Ausdruck findet. Gegen völlige Identifizierung spricht aber der Umstand, daß die Eruptiva von Dras der oberen Kreide angehören und so in naher zeitlicher Verwandtschaft zu jenen von Beludschistan stehen. Daraus ist zu folgern, daß der ungeheure Riß der Erdrinde, in dem diese eigenartigen Produkte der Simaregion hochkamen, nicht einem einzigen Ereignis seine Entstehung verdankt, sondern sich fortschreitend entwickelte. Es wäre daher von Interesse, wenn es gelingen würde, genauer das Alter der Ophiolithe in den einzelnen Abschnitten ihrer Verbreitung festzustellen; doch wäre dieser Versuch wohl noch verfrüht. Einstweilen genügt es, zu wissen, daß dieser Gürtel dem ganzen Kettensystem der Länder am europäisch-asiatischen Mittelmeer treu bleibt und mit einigen Unterbrechungen immer wieder an der Oberfläche erscheint.

Seit langem sind Serpentinmassive im sogenannten Flyschgürtel von Birma sowie den zugehörigen Andamanen-Nikobaren bekannt und werden von E. Suess in seiner Besprechung der »grünen Gesteine« entsprechend hervorgehoben¹. Auch in den Inseln des Sundaarchipels, so in Sumatra, Java, Borneo, sind sie vorhanden, wenn auch oft von jüngeren vulkanischen Gebilden überdeckt. Die weitere Fortsetzung ist über das fast unerforschte Neuguinea in dem pazifischen Ozean zu suchen, wo Neukaledonien² und einige der Salomoninseln (Cristobal, Guadalcanal) durch ungeheure Serpentinmassen ausgezeichnet sind. Nach der Ansicht von Pirouet gehören die berühmten Nickel führenden Serpentine Neukaledoniens dem Tertiär an, doch stimmt zu dieser Auffassung nicht der Umstand, daß die dortigen Tertiärausbrüche vorwiegend trachytisch-andesitische Gesteine förderten. Verfolgen wir die Inselketten des westlichen Pazifik weiter nach Süd, so tritt uns besonders Neuseeland³ vor Augen, wo sowohl die Nordinsel als auch der Nelsondistrikt durch mächtige Peridotit-Serpentin-Massen ausgezeichnet sind. Sie treten in der Maitaifformation (Trias, Jura) auf, sind aber älter als die oberkretazisch-tertiären Oamaruschichten — eine Alterszuweisung, die vielleicht auch für Neukaledonien gelten könnte. In den ostasiatischen Inselguirlanden spielen die hierhergehörigen Eruptiva eine geringe Rolle; um so mehr aber in den Mariposa-Knoxville-Schichten Kaliforniens, von wo sie sich durch die Kordilleren von Zentralamerika in die metamorphe Axialzone der großen Antillen verlängern⁴. Rutten hat letztere mit Recht mit den Sundainseln verglichen.

Auch mitten im Atlantischen Ozean stellt die Peridotitinsel St. Paul ein intensiv gepreßtes Stück des um die Erde laufenden Ophiolithrings dar.

Johar (Zentral-Himalaya, Akad. Wien, Sitzber. Math.-nat. Kl., April 1907. — A. v. Krafft, Notes on the exotic blocks of Malla Johar, Memoirs Geological Survey of India, vol. XXXII, Pl. 3, p. 127—183.

¹ E. Suess, Antlitz der Erde, III. Bd., französische Ausgabe, S. 1499 u. 1696.

² Marshall, Ozeania, Grundzüge der Regionalgeologie.

³ Marshall, Neuseeland, Grundzüge der Regionalgeologie.

⁴ Vgl. Daly l. c. und C. Schuchert, The Antillean Region New York, 1935.

Schlußfolgerungen.

1. Eine ungeheure Narbe, ausgefüllt mit dem emporgestiegenen Sima abyssischer Magmazonen, verheilt die tektonisch zusammengehörigen Nordkontinente (Nordamerika und Eurasien) mit dem südlichen Festlandkomplex, den man als Gondwanaland bezeichnet. Der Verlauf der Narbe, deren Schleifenformen allen Windungen des jungen Falteingürtels folgen und ihnen plastisch angepaßt sind, beweist deutlich, daß ihre Ausfüllung bereits erfolgt war, bevor noch die Hauptfaltung eintrat. Auch das spätestens untertertiäre, vorwiegend jungmesozoische Alter der Eruptionen (Jura- bis Unterkreide) liefert einen Beleg dafür.

2. Ein typischer Ausschnitt dieser Ophiolithregion des jungen Mediterrangürtels ist in Europa und Vorderasien sichtbar. Er läßt sich ohne Unterbrechung vom ligurischen Apennin in die zentralen Westalpen, dann mehr lückenhaft durch die Kernregion der Ostalpen in das dinarische Gebirge der Balkanhalbinsel verfolgen und erreicht hier seine vollständigste Ausbildung, die er bis in die Gebirge Irans, ja in den Himalaya und bis Südostasien beibehält.

In seiner Zusammensetzung besteht das gefördertete Material der unter dem Namen »Ophiolithe« (abgekürzt ω) zusammengefaßten Eruptiva aus dunklen, meist grünlichen oder schwärzlichen basischen bis ultrabasischen Gesteinen der kalzium- und magnesiemeisenreichen Plagioklas-Pyroxen-Amphibol-Gruppen bis zu feldspatfreiem Peridotgestein. Eine petrographische Beschreibung der gewöhnlichsten Typen geben Lacroix, Reinhart¹, Hammer u. a.² Als häufige Gattungen sind zu nennen: a) von plutonischen Gesteinen die Gabbros mit und ohne Olivin (Peridot), Harzburgite, Lherzolithe, Dunite und die aus ihnen hervorgegangenen Serpentine; mit letzterem Namen werden übrigens oft plutonische Massen bezeichnet, die zu einem großen Teil noch aus ursprünglichem Peridotit bestehen. Die Lagerungsformen sind meist Stöcke, Gänge oder lakkolitische Injektionen.

b) Von begleitenden Effusivgesteinen sind zu nennen: Diabase (oft als Trapp bezeichnet), Augitporphyrite und Melaphyre. Unter deren Erstarrungsformen sind besonders häufig Kissenlaven und Eruptivbrekzien.

3. Untersuchen wir diesen Eruptivgürtel hinsichtlich seiner Lage innerhalb der Faltenregion, so sehen wir ihn geknüpft an eine mittlere Leitachse, die von je einer nördlichen und einer südlichen autochthonen Randzone begleitet wird. Einige Beispiele mögen dies zeigen: In den Westalpen beschränkt sich die Ophiolithverbreitung auf den Gebirgsstreifen, der zwischen den helvetischen Falten und der südlichen Kalkzone eingeschlossen ist. In Südosteuropa liegt er zwischen den adriatisch-jonischen Küstenfalten und den ebenfalls autochthonen Sandstein-

¹ Reinhart, Zur Geologie und Petrographie des Vilayets Skutari, Ann. Instit. Geol. Buc. Bd. V.

² Hammer, Forschungsreisen in Westserbien, Akad. d. Wiss., Denkschr. 1906.

gebirgen des Balkans sowie der äußeren Karpathen. Genetisch betrachtet sind die letztgenannten äußeren Gürtel des Querschnitts durch das gesamte Gebirge Teile der Randsenke, die als Saum des starren Vorlandes in die Faltung einbezogen wurden, aber außerhalb des Bereiches tiefreichender Umprägung der Erdrinde liegen. Sie gehören lediglich dem Übergang des jungen Kettensystems in das starre Gebiet an. In Asien z. B. ist das Bereich der Ophiolithe eingeschlossen zwischen den sedimentären Randfalten der Turkmenensteppe und den ihr Gegenstück darstellenden Kreide-Tertiär-Zügen Mesopotamiens. Zwischen beiden liegt die tief aufgewühlte innerpersische Zone, deren Falten und Schuppen erfüllt sind mit emporgedrungenem Tiefenmagma größtenteils basischer Natur.

4. Wenn wir die Wanderungen der mediterranen Faltungen seit dem Paläozoikum verfolgen, sehen wir das Mittelmeer immer mehr im Norden an Raum verlieren und gleichzeitig die Faltenzüge immer weiter nach Süden vordringen, wobei sie sich große Stücke, die früher zur tektonischen Einfassung von Gondwanaland gehört hatten, als Faltenaum Eurasiens einverleibten. Wie in einer Arbeit von 1928¹ (Kossmat) dargelegt wurde, ist dieser Raumverlust der Südkontinente am auffälligsten in Indoafrika, wo die jungen Gebirge des Himalayasystems erobernd eindringen bis in den präkambrischen Rumpf, während sich weiter östlich (im indoaustralischen Abschnitt) die kaledonischen und variskischen Teile der Umgürtung der Südkontinente noch erhalten haben. Die Wundnaht zieht mithin schräge über die Strukturen des eigentlichen Gondwanidenkomplexes hinweg.

Der Verlauf der Naht kommt zum Ausdruck durch den Ophiolithstreifen, der am Wüstenplateau von Afrika vorbei ins Ägäische Meer und weiterhin an Mesopotamien und der Indus-Ganges-Ebene vorbei in den Ostindischen Archipel zieht. Hier mündet er in den westpazifischen Rand ein.

5. Der einseitig geschwungene Lauf der Bögen weist darauf hin, daß die beiden Riesenschollen der Erdrinde, deren Grenze er zum Ausdruck bringt, nicht nur gegeneinander getrieben wurden, sondern sich auch gleitend nebeneinander her bewegt haben. Die Art der Schleifenbildungen beweist, daß dabei die Südscholle sich nicht nur gegen Norden, sondern zugleich gegen Osten verschoben hat. Die gleiche Bewegungsart läßt sich ja auch aus der Verdrehung der Arabischen Halbinsel und fernerhin aus dem Vorspringen der indo-australischen Ketten ableiten (Kossmat 1928).

6. Eine häufige Erscheinung in den ω -Gebieten ist ihre Verknüpfung mit Überschiebungen großen Maßstabes, wofür besonders charakteristische Lagerungsformen in den Alpen zu nennen sind. Großartige Beispiele bieten vor allem die penninischen und Graubündner Alpen. Ähnlich verhält sich der Apennin, dessen ligurische Zone in gewaltiger Entfernung von der Wurzel als Decke auf den Falten des Schichtsystems von Toskana ruht und sich im Wirbel von Turin mit der penninischen Region der Westalpen vereinigt. Ähnlich sind die Überschiebungerschei-

¹ Zeitschr. f. Geophysik.

nungen im dinarischen Gebirge Albaniens und Mittelgriechenlands, von wo Nopcsa und Renz auffallende Profile gegeben haben. Das gleiche gilt, wenn auch im einzelnen weniger erforscht, für die von Nowack untersuchte Fortsetzung nach Nordanatolien und für die »Zone des nappes« in Persien. Nicht minder auffallend sind die tektonischen Klippenphänomene des gleichen Gürtels im Himalaya (Chitichun, Malla Johar). Gewiß sind die Überschiebungserscheinungen an und für sich häufig genug, aber ihre besondere Häufung in den ω -Gürteln hat ihre mechanischen Gründe, die zum Teil in der petrographischen Beschaffenheit liegen. Die Peridotite sind nicht nur bei der Verwitterung einer Umwandlung in Serpentin unterworfen, sondern sie sind auch in ganzen Massiven so weitgehend serpentinisiert, selbst in tief reichenden frischen Aufschlüssen, daß diese Umwandlung wohl schon in postvulkanischen Stadien durch endogene Hydratbildung eingetreten sein muß. Die talkigen Rutschflächen sind daher im großen und kleinen eine natürliche Eigenart der Serpentintektonik; ähnliches gilt für die Chloritisierung der Pyroxene und Amphibole mannigfacher Plutonite und Vulkanite der ω -Serie und für die bei ihrer Zersetzung aus verschiedenen Ca-Mg-Silikaten ausgeschiedenen Kalzite (vergleiche z. B. die Verknetung der Ophikalzite).

7. Diese wohlbekanntesten Überschiebungserscheinungen tragen im hohen Grade dazu bei, die Primärkontakte zu verwischen oder mindestens tektonisch umzugestalten. Dies ist um so mehr der Fall, weil die basischen und ultrabasischen Eruptiva arm an Mineralisatoren sind (H_2O , CO_2 , HF, HCl, K_2O , Na_2O . . .), die in den sauren Magmen eine große Rolle spielen und die Hauptfaktoren der Metamorphose darstellen. Dies fällt auf angesichts der hohen Lage der Schmelzpunkte, die bei Olivin nach Vogt zwischen 1360 bis $1410^\circ C$ liegen. Nach demselben Autor beginnen wasserfreie, eisenarme Peridotite bei $1500^\circ C$ zu kristallisieren, andere bei ungefähr $1400^\circ C$ (briefliche Mitteilung von Daly). Weitere Angaben sind in Dalys Werk (»The igneous Rocks and the Depths of the Earth«, Washington 1933, S. 65) zu finden. Also liegt die Temperatur weit über jenen der intermediären und sauren Schmelzen. Man muß also auch mit dem Gedanken rechnen, daß die ultrabasischen Ophite teilweise in festem Zustand die obere Region der Erdkruste erreichten und als eingeschobene, zwar hoch erhitze, nicht aber flüssige Masse den Ergüssen der Kissenlaven und verwandter Magmen folgten.

Anmerkung: Die neuesten Experimente von Bowen und Schairer ergaben sogar noch höhere Schmelztemperaturen als die Werte von Vogt. Olivin mit 40% Fe_2SiO_4 beginnt bei $1500^\circ C$ erst zu schmelzen mit einem Schmelzintervall von $200^\circ C$. Olivin mit 10 bis 15% Fe_2SiO_4 , der dem gewöhnlichen Magnesium-Olivin des Dunits entspricht, schmilzt vollständig erst bei $1850^\circ C$. Diese hohen Temperaturen, die in den Magmen äußerer Partien der Erdkruste niemals beobachtet werden, sprechen dafür, daß die Peridotite nach Art des Dunits zur Zeit ihrer Intrusion größtenteils in kristallinem Zustand sind, wahrscheinlich vergesellschaftet mit einer komplexen Schmelzlösung, deren Pressung die Bewegung entlang von Translationsflächen ermöglicht.

Man darf sich also vorstellen, daß die Differentiationen peridotitischer Natur ihren Platz nach Art von Quetschlinen einnehmen. Dafür sprechen auch die geringen Kontaktwirkungen, die selbst bei der Einwirkung auf stark reagierendes Nebengestein nur wenige Dezimeter weit reichen (vgl. N. L. Bowen and J. F. Schairer, *The Problem of the Intrusion of Dunite in the Light of the Olivine Diagram*, XVI. Internat. Geol. Kongreß, Washington 1933).

Eine merkwürdige Erscheinung ist die Häufigkeit submariner Kissenlaven und ähnlicher Erstarrungsformen diabasischer Laven. Man muß annehmen, daß diese vulkanischen Ergüsse sich unter dem Schutze eines hochoverhitzten und hoch gespannten Gaspolsters am Boden der See fortwälzten, wobei sie in konzentrischen Intervallen den absorbierten Dampf abgaben. Ein typisches Erstarrungsprodukt dieser Art sind die submarinen Diabaslaven der Umgebung von Plauen im Vogtland. Ob die Ansicht von G. Steinmann zutrifft, daß die von Radiolariten begleiteten Kissenlaven als Tiefsee-Ergüsse aufzufassen sind, die rund fünftausend Meter unter dem Wasserspiegel erstarrten, ist noch fraglich. Submarine Hydratbildung kann auch bei geringerer Tiefenlage aus den gleichen chemischen Ursachen eintreten und einen günstigen Nährboden für kieselabsondernde Organismen schaffen.

8. Die Fazies der Ophiolithe beschränkt sich auf die Pressungszonen, wie ihre Verknüpfung mit dem Faltengürtel beweist. Sie unterscheidet sich dadurch wesentlich von den Zerrungsgebieten, z. B. der nordatlantischen Eruptivprovinz, wie sie zu verschiedenen Zeiten in Form basaltischer Schollenfelder erscheint (Island, Färöer, Hebriden, Columbiaplateau usw.). In letzteren finden sich ultrabasische Gesteine als losgelöste und angeschmolzene Schollen, aber niemals als fortstreichende Gürtel. (Man vergleiche z. B. die Hebridenregion mit den Serpentinzonen der Mittelmeerländer.)

9. Innerhalb eines Faltenzyklus beschränkt sich die Ophiolithphase auf die Frühstadien der Bewegungen, in denen nur die Unterlage der salischen Rinde Träger des Vulkanismus ist und die Hauptzonen des entstehenden Gebirges miteinander verschweißt. In dieser Phase erfolgt ein Zuwachs der Oberfläche durch den Übertritt eines Teiles der Simaschale in die Außenpartie der Erdrinde und vergrößert deren Volumen.

10. Erst dann folgt die granodioritische Phase, in der das beteiligte Magma zu einem großen Teile aus der Vermischung mit dem eingeschmolzenen Sedimentmaterial hervorgeht und nur untergeordnetes Material des Unterbaues beigemischt enthält¹.

11. In jedem Faltenzyklus wiederholt sich der gleiche Prozeß, nur wandert die Lage der Narbe, deren Simafüllung die Verschweißungsstellen im Faltengebirge bezeichnet. Vergleichen wir z. B. den jungen Mediterrangürtel mit seinem karbonischen Vorläufer, so sehen wir den Hauptgürtel der variskischen Simagesteine in der Zone von Devonshire, im rheinisch-herzynischen Gebirge. Im Osten

¹ F. Kossmat, *Palaeogeographie und Tektonik*. Verlag Bornträger, Berlin 1936. S. 302 u. 401.

vereinigt sich mit ihm der ultrabasische Gürtel der sibirischen Abdachung des Ural. Ähnlich liegen die Verhältnisse im kaledonischen Gebirge Skandinaviens, wo die Peridotitzone Skandinaviens (vgl. Jötunheim, Lofoten) in petrographischer und struktureller Beziehung dem jungen Ophiolithgürtel entspricht.

Diese alte Narbenzone ist mit ihrem europäischen Abschnitt noch nicht zu Ende, sondern erstreckt sich durch die Appalachen als peridotitreicher Axialstrang noch weit in Nordamerika. Ähnlich liegen die Verhältnisse in den Kaledoniden Australiens. Auch in ihnen bezeichnet ein langer basischer bis ultrabasischer Gürtel das Vorhandensein einer Naht. Könnte man solche auf einer Karte eintragen, so bekäme man ein Bild der Narben, in denen das Sima der jeweiligen Hauptzonen der Verschweißung zutage trat und die äußere Erdrinde durch Verdrängung des Sial vergrößerte.

Ausgegeben am 29. November.



Fig. 2. Blick durch das Lintal abwärts nordöstlich der Jerina Gradina in die Prijepolje. Im Hintergrund der Trias-Felsklotz des Sokolac. Im Mittelgrunde die Serpentin- und Diabaslandschaft, unterbrochen durch eine Aufwölbung von überfaltetem mesozoischem Hornsteinkalk S. von Priboj.



Fig. 3. Serpentinlandschaft im Ibartal talabwärts von Mitrovica, nach dem Eintritt in das »Ibartor«.

ssmat: Der ophiolithische Magmagürtel in den Kettengebirgen des mediterranen Systems.

Bekanntmachung.

Vom 1. Januar 1936 ab gelten für den Bezug der »Sitzungsberichte« und »Abhandlungen der Preußischen Akademie der Wissenschaften die folgenden Bestimmungen:

1. Jede einzelne Arbeit ist wie bisher einzeln käuflich.
2. Ferner wird eine Subskription nach Fachgruppen eröffnet. Folgende Gruppen sind vorläufig in Aussicht genommen:
 - a) Mathematik.
 - b) Physik, Chemie, Mineralogie, Astronomie, Technik.
 - c) Geophysik, Geodäsie, Geologie, Geographie.
 - d) Botanik, Zoologie, Palaeontologie, Anatomie, Physiologie.
 - e) Philosophie.
 - f) Geschichte des Altertums.
 - g) Mittlere und neuere Geschichte.
 - h) Kirchengeschichte.
 - i) Rechts- und Staatswissenschaft.
 - k) Allgemeine, deutsche und andere neuere Philologie.
 - l) Klassische Philologie.
 - m) Orientalische Philologie.
 - n) Kunstwissenschaft, Archaeologie und Vorgeschichte.

Die Subskribenten auf eine oder mehrere dieser Fachgruppen erhalten alle zu der betreffenden Gruppe gehörigen Arbeiten (einschließlich der nicht im Buchhandel erscheinenden kleinen Mitteilungen) mit einem Preisnachlaß von 20%.

Die Subskription verpflichtet zur Abnahme aller im Laufe eines Kalenderjahres in der betreffenden Fachgruppe erscheinenden Arbeiten. Sie kann jederzeit eröffnet werden, jedoch nicht mit rückwirkender Kraft. Wird die Subskription nicht spätestens zum 1. Dezember widerrufen, so gilt sie als stillschweigend erneuert für das folgende Jahr.

Die Subskription erfolgt durch den Verlag von Walter de Gruyter & Co. in Berlin W 10, Woyschstr. 13.

3. Endlich erscheinen die »Sitzungsberichte« auch wie bisher in Jahresbänden, und zwar getrennt in »physikalisch-mathematische Klasse« und »philosophisch-historische Klasse«. Das Abonnement auf die Jahresbände erfolgt in derselben Weise wie die Subskription auf die einzelnen Fachgruppen. Für die Abonnenten auf die Jahresbände der »Sitzungsberichte« der physikalisch-mathematischen Klasse allein beträgt der Vorzugspreis 40 *R.M.*, für die Abonnenten auf die Jahresbände der philosophisch-historischen Klasse allein 12 *R.M.* und für die Abonnenten auf die »Sitzungsberichte« beider Klassen zusammen jährlich 44 *R.M.* Nach Abschluß der vollständigen Jahrgänge wird ein höherer Ladenpreis festgesetzt.

Preußische Akademie der Wissenschaften.