

Im weiteren Verlauf muß jedoch auch die Mantelmaterie an ihrer freien Oberfläche erstarrt sein und damit wird die Bewegung der Kontinente als Folge von Mantelströmungen zu einem Ende gekommen sein; seither bildet die starre Erdkruste ein Ganzes. Spätere Mantelströmungen konnten darin nur Störungen in Schwächezonen verursachen, welche, wie wir in Abschnitt II gesehen haben, zu Bildung von Geosynklinalen führten. Im Abschnitt V wurde schließlich dargelegt, daß diese Strömungen meist in einem halben Umlauf die Mantelschicht erfassen, episodisch auftraten mit langen dazwischengeschalteten Ruhepausen.

Diese kurze Skizze der Hauptzüge der Erdgeschichte findet hiemit ihr Ende. Übersieht man sie als Ganzes, dann steht man unter dem tiefen Eindruck der großen Zusammenhänge all dieser Erscheinungen.

Literatur

- VENING-MEINESZ, F. A.: Gravity Expeditions at Sea, I, II, III, IV (II und IV über Schwerkraftsinterpretierung der Resultate), Niederländische Geodätische Kommission, Kanaalweg 4, Delft.
- VENING-MEINESZ, F. A.: Indonesian Archipelago: a geophysical study, Bull. Geol. Soc. of Amer. Feb. 1954.
- VENING-MEINESZ, F. A.: Plastic buckling of the earth's crust: the origin of geosynclines, Bull. Geol. Soc. of Amer. Spec. pap. on the earth's crust, 1955.
- VENING-MEINESZ, F. A.: The geophysical History of a Geosyncline, Contrib. in Geophysics: in honor of Gutenberg, Pergamon Press, 1958.
- VENING-MEINESZ, F. A.: De mantel en de korst der aarde, Nederl. Tydschrift voor Natuurkunde, 24, 5, 1958.
- Buch zusammen mit HEISKANEN, W. A.: The Earth and its Gravity Field, 1958, McGraw-Hill, New York.

Bericht über geologische Studien in Südkalifornien

VON CHRISTOF EXNER

Das Winterhalbjahr von Anfang Oktober 1957 bis Mitte März 1958 verbrachte ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter am geologischen Institut des Pomona-College (Vorstand: Prof. Dr. DONALD B. MCINTYRE). Dieses College befindet sich etwa 65 km östlich des städtischen Zentrums von Los Angeles. Es handelt sich um ein Privatcollege im Neuengland-Stil (gegründet 1887), dessen geologisches Institut schon seit Jahrzehnten besonders auf die Erforschung der ausgedehnten kristallinen Gebirgsketten Südkaliforniens und deren Minerale ausgerichtet ist.

Nördlich über den Orangenhainen, die das College umrahmen, ragt mit unmittelbarer jungtektonischer Bruchstufe das kristalline Gebirge der San Gabriel Mts. 3000 m über die Ebene aufwärts. Nach Osten blickt man auf die noch höheren kristallinen Wüstenketten der San Bernardino und San Jacinto Mts. Der südkalifornische Batholith, welcher die südliche Fortsetzung des Sierra Nevada-Plutons darstellt, baut mit prächtigen Kontaktaufschlüssen die vegetationsarmen Hügelzüge im SE auf. Und nach W, gegen den Pazifik zu, erstreckt sich das von einigen jungtektonischen Antiklinalen (Hügelketten) durchzogene, einförmig und

dicht besiedelte, flächenhaft ungeheuer ausgedehnte Stadtgebiet des Los Angeles-Beckens. Die an und für sich wunderschöne mediterrane Landschaft mit dem auch im Winter meist wolkenlosen Himmel wird häufig von dem sonderbaren, wenig erfreulichen „Smog“ (Gemisch aus Küstendunst und Auspuffgasen der rund 2 Millionen Kraftwagen des Los Angeles-Stadtgebietes) eingedeckt.

Das Pomona-College liegt also am Rande des Los Angeles-Beckens zum Hochgebirge und zur Mojave- und Colorado-Wüste. Schon F. X. SCHAEFFER war vor Jahren am Pomona-College zu Gaste, und zwar bei dem damaligen Vorstände, dem jetzt emeritierten Professor der Geologie Dr. A. O. WOODFORD. Auf Grund der freundlichen Bemühungen des Direktors der Geologischen Bundesanstalt, Prof. Dr. H. KÜPPER, wurde ich von Prof. Dr. S. W. MÜLLER (Universität Stanford) an das geologische Institut des Pomona-College empfohlen.

So hatte ich das große Glück, einen begeisterten Alpinisten in der Person des jetzigen Vorstandes dieses Institutes, Prof. Dr. DONALD B. MCINTYRE zu finden, der als gebürtiger Schotte seine geologische Ausbildung und Assistentenjahre im geologischen Institut der Universität Edinburgh bei A. HOLMES absolvierte. Neben seinen gefügekundlichen Pionierarbeiten im schottischen Hochland, die durch längere Studien bei E. WEGMANN angeregt waren, beschäftigt sich D. B. MCINTYRE besonders mit alpiner Tektonik, mit der Anwendung gefügekundlicher Methoden in Kalifornien, mit Fragen der Granitisation, Jungtektonik, Seismologie usw. Er besuchte mich und den Herrn Kollegen Dr. H. HOLZER im Sonnblickgebiet (Hohe Tauern) im August 1957. Und als ich dann anfangs Oktober 1957 am geologischen Institut des Pomona-College eintraf, war ich kein Fremder mehr. Ich durfte mich während des halbjährigen Aufenthaltes der herzlichsten und lebenswürdigsten Betreuung durch Dr. D. B. MCINTYRE und seine Mitarbeiter Dr. G. ORTEL (Bonn), Dr. J. M. CHRISTIE (Schottland) und C. B. RALEIGH (Arizona) erfreuen.

Mein Aufenthalt in Amerika wurde durch ein Forschungsstipendium der U. S. National Science Foundation für kristalline geologische Arbeiten in Südkalifornien am Pomona-College ermöglicht. Für die Hin- und Rückreise wurde mir ein Fullbright-Reisestipendium zuerkannt. Das Bundesministerium für Unterricht gewährte mir mit Befürwortung durch den Direktor der Geologischen Bundesanstalt einen Studienurlaub.

4 cm große Albitporphyroblasten in Grünschiefern vom Typus der Tauernschieferhülle

Meine Arbeit bestand in der petrographischen Charakterisierung der metamorphen Gesteine der Orocopia Mts. Dieser Gebirgszug befindet sich in der Colorado-Wüste, an der NE-Ecke des Salton-Sea, 100 km nördlich der mexikanischen Grenze,

J. C. CROWELL (1958 a), der ein Jahr lang bei Prof. B. SANDER in Innsbruck Studien betrieb, nahm in den vergangenen Jahren die Orocopia Mts. geologisch auf und überließ eine noch eingehendere Detailkartierung des metamorphen Anteiles dieses Raumes zwecks Lösung gefügekundlicher Abrollversuche und spezieller petrographischer Durcharbeitung unserer Arbeitsgemeinschaft am geologischen Institut des Pomona-College. Schon bevor ich ankam, hatten meine Kollegen J. M. CHRISTIE und C. B. RALEIGH die Detailkartierung eines Abschnittes der kristallinen Schiefer der Orocopia Mts. weit vorgetrieben, so daß ich mich nur noch an einigen abschließenden gemeinsamen Feldbegehungen be-

teiligte. Ich fertigte im Laboratorium eine makro- und mikroskopische Beschreibung der gesammelten Gesteine an, während sich meine Kollegen gleichzeitig hauptsächlich mit gefügekundlichen Studien an den Gesteinen der Orocopia Mts. befaßten (Achsenüberprägungen, Rückrollversuche, Korngefügeregelung des Kalkspates usw.). Man hatte mich zur petrographischen Bearbeitung der kristallinen Schiefer der Orocopia Mts. deshalb mitherangezogen, weil schon D. B. McINTYRE die Ähnlichkeit dieser Gesteine mit penninischen Schiefen der Alpen aufgefallen war.

Die Ähnlichkeit mit Gesteinen der Tauernschieferhülle ist groß. In den Orocopia Mts. treten auf: Schwarzphyllit mit Albitporphyroblasten, Kalkphyllit, Arkosegneis, Arkosequarzit, reiner Quarzit, Karbonatquarzit, Kalkmarmor, quarzreicher Kalkmarmor, kalkhaltiger Hornblendegarbenschiefer reich an Albit und Granat, Serpentin, Talkschiefer, Strahlsteinfels, Grünschiefer in großer Menge und Variabilität (Hornblendchloritprasin mit und ohne Biotit, mit und ohne Granat; Chloritprasin mit Granat, mit Muskowit), Albitchloritschiefer, Epidosit, Chloritschiefer und schließlich „alpine“ Kluffüllungen mit viel Albit. Die Grünschiefer der Orocopia Mts. zeigen die typische blaugrüne Hornblende der Tauern. Die Ausbildung der Feldspate entspricht der bei uns bekannten. Bloß werden die Albitporphyroblasten der Grünschiefer in den Orocopia Mts. größer und sind häufig automorph entwickelt. Wir fanden 4 cm große Albitporphyroblasten mit helizitischen Einschlüssen. Die Randsäume dieser Albite sind einschlussfrei, was man schon makroskopisch an diesen großen Kristallen gut erkennen kann. Bezüglich der Gesteinsfazies und bezüglich der Beziehungen zwischen Durchbewegung und Kristallisation konnten die alpinen Erfahrungen hier unmittelbar angewandt werden. Allerdings wirkt sich in den Orocopia Mts. wie in den meisten kristallinen Gebieten Südkaliforniens die tertiäre bis rezente Bruchtektonik recht hinderlich für die petrographische Untersuchung aus. Der Gebirgskörper ist von zahlreichen jungen Ruschelzonen durchschnitten. Die von dem dichten Netz der Ruschelzonen begrenzten mosaikförmigen Teilkörper in Meter- bis 100 m-Bereich sind gegeneinander vertrifft, verdreht und gekippt und die Gesteine sind im allgemeinen leicht diaphthoritisch.

Die Orocopia Mts. werden nach W messerscharf von der San Andreas-Störung abgeschnitten. Sie tritt im Wüstengelände sehr deutlich in Erscheinung (Oasen und rote Verwitterungsfarbe). Sie scheidet das Gebirge der Orocopia Mts. im E vom Imperial Valley (mit Salton-Sea) im W. Der Golf von Kalifornien ist ein tektonischer Graben. Er streicht nach NNW ins Imperial Valley aus, dessen alluviale Taloberfläche 80 m unter Meereshöhe liegt. Das dazwischen befindliche Delta des Colorado-Flusses riegelt die Depression des Imperial Valley gegen den Golf von Kalifornien ab. Von der Zeit der spanischen Entdecker bis vor 50 Jahren war das Becken des Salton-Sea fast trocken. Der heutige See entstand durch das Hochwasser des Colorado-Flusses in den Jahren 1904—1907 und erhält sich gegenwärtig infolge der künstlichen Bewässerungsanlagen, welche Wasser des Colorado-Flusses ins Imperial Valley leiten (CH. R. LONGWELL 1954).

320 km Seitenverschiebung an der San Andreas-Störung? Eine eigenartige Fragestellung an den Petrographen

Es gibt aber auch in diesem nüchternen Lande phantasievolle Hypothesen, welche die Geister bewegen, besonders weil sie von sehr erfahrenen Feldgeologen vorgetragen werden. Ich war zuerst erstaunt, als man mir allen Ernstes

nahelegte, die Pelona-Schiefer petrographisch zu untersuchen, welche in den nördlichen San Gabriel Mts. aufgeschlossen sind, große Ähnlichkeit mit den Gesteinen der Orocopia Mts. aufweisen, von denen sie jedoch durch eine Blattverschiebung von 320 km Länge infolge Auseinandergleitens des Kontinents an der San Andreas-Störung getrennt sein sollten (J. C. CROWELL, 1958 a und b).

Auch die Pelona-Schiefer bestehen aus Schwarzphylliten, Quarziten, Grünschiefern usw. mit Albitporphyroblasten und blaugrüner Hornblende. Die Serie ist den Gesteinen der Orocopia Mts. durchaus vergleichbar, bloß ist der Grad der Metamorphose in den Pelona-Schiefern etwas schwächer; es tritt auch manchmal in den Schwarzphylliten der Pelona-Schiefer Stilpnomelan auf. Die Albitporphyroblasten erreichen nicht so große Durchmesser, doch erweist sich ihre Ausbildung als analog zu denen der Orocopia Mts. Wie bereits oben erwähnt, befinden sich die Orocopia Mts. in der E-Scholle der San Andreas-Störung. Die Pelona-Schiefer gehören der W-Scholle an. Sie treten 320 km NW der Orocopia Mts. spiegelbildlich an die San Andreas-Störung heran und werden abrupt von dieser abgeschnitten, ohne daß sich in der näheren Umgebung eine sichtbare Fortsetzung östlich der San Andreas-Störung erkennen läßt. Es wird vermutet, daß die Blattverschiebung durch Summierung gleichgerichteter kleiner Verschiebungsbeträge — so wie man sie rezent eindeutig sieht — seit dem Eozän einen Betrag von 320 km erreicht. In der Eozänzeit sollen die Orocopia Mts. die unmittelbare streichende Fortsetzung der Pelona-Schiefer dargestellt haben, wofür neben der Analogie der petrographischen Merkmale der fossilfreien kristallinen Schiefer auch nichtmetamorphes fossilreiches marines Eozän zur Argumentation herangezogen wird.

Man kann sich in die Existenzberechtigung dieser zunächst absurd erscheinenden Fragestellung erst richtig hineindenken, wenn man das Erscheinungsbild der San Andreas-Störung, die wahrhaft planetarische Ausmaße besitzt, sieht. Auf den in den diversen geologischen Instituten der Los Angeles-Gegend aufgestellten Photographien der Erdoberfläche im Raume der SW-Staaten und des angrenzenden Pazifik — automatisch geknipst von einer Rakete aus 300 km Höhe — erscheint die San Andreas-Störung als geradliniger, im Gebiet der Transversalkette (nördlich Los Angeles) schwach gekrümmter, wie mit dem Rasiermesser gezogener Riß, der deutlicher ist als alle übrigen geomorphologischen Merkmale des Kontinents in diesen Gebieten. Sie bildet teils den haarscharfen Bruchrand mächtiger Gebirge (z. B. N-Rand der San Gabriel Mts., S-Rand der San Bernardino Mts.), oder die Grenze von Ebenen (z. B. Imperial Valley), oder tiefe Graben (z. B. San Emigdio Mts. in den östlichen San Gabriel Mts.). Aus Bohrungen und geophysikalischen Meßergebnissen geht hervor, daß der Riß in der Erdkruste vertikal steht. An ihm vollziehen sich Blattverschiebungen, und zwar sprechen sämtliche bisher gewonnenen Beobachtungsdaten dafür, daß sich die Verschiebungen rezent und während der vergangenen geologischen Epochen stets im gleichen Sinne vollziehen. Die Relativbewegung ist: E-Scholle nach S, W-Scholle nach N.

Zur kürzeren Kennzeichnung der Relativbewegung an Blattverschiebungen, sowie an sonstigen Verwerfungen und Überschiebungen (häufig sind Kombinationen von Seiten- und Vertikalverschiebung), hat der aus dem geologischen Institut des Pomona-College hervorgegangene Chefgeologe der Richmond Oil Company, Dr. M. L. HILL (1947), eine einfache Nomenklatur geschaffen, die sich in den USA weitgehend durchgesetzt hat. Gegenwärtig arbeitet M. L. HILL mit Unterstützung namhafter amerikanischer Geologen an einer weiteren Ver-

feinerung seiner Nomenklatur. Wenn man bedenkt, daß die Geologie Kaliforniens von Störungszonen verschiedenster Relativbewegungen beherrscht wird, ist es klar, daß einer kurzen und eindeutigen Nomenklatur großer Wert zukommt. Und das ist auch das erste und wichtigste, was der Neuankömmling dort so gleich in seinen Sprachschatz aufnimmt:

- strike-slip fault (Blattverschiebung):
- right lateral fault (Rechtsseitenverschiebung),
- left lateral fault (Linksseitenverschiebung).

Zum Verständnis und zur richtigen Anwendung dieser Nomenklatur hat man sich bloß zu merken, daß der Beobachter auf einer der beiden Schollen stehend gedacht wird, also nicht unmittelbar auf der Linie selbst. Er blickt von seinem Standpunkt zur Störungslinie und gibt den relativen Verschiebungssinn der jenseits der Störungslinie befindlichen Scholle an. So ist z. B. die San Andreas-Blattverschiebung eine Rechtsseitenverschiebung.

Während des Erdbebens von San Francisco im Jahre 1906 wurden bekanntlich Straßen und Zäune, welche die NW-streichende San Andreas-Störung querten, bis zu 7 m rechtsseitenverschoben. Der Geologe Dr. J. S. SHELTON (Professor am Pomona-College) nahm mich in seinem Privatflugzeug zu einer Exkursion mit, auf der er mir die von der Luft aus sehr klar und eindeutig erkennbare Versetzung der Morphologie beiderseits der San Andreas-Störung an der SW-Seite der Temblor Range, westlich Bakersfield, zeigte. Dort sind die Bachläufe, die von der Störungslinie gequert werden, markant abgelenkt und meist um einige Meterzehner rechtsseitenversetzt. Es gibt hier auch Stellen, wo die Seitenversetzung 1 km beträgt. Siehe die Luftphotos, die der Arbeit von J. S. SHELTON (1958) beigegeben sind! Für das Pleistozän ist auf Grund von Schotteranalysen pleistozäner Terrassensedimente, welche von der San Andreas-Störung gekreuzt werden, die Rechtsseitenverschiebung an der San Andreas-Störung zwar nicht so unmittelbar, jedoch auf Grund exakter geologischer Kartierungen ebenfalls nachgewiesen. Und zwar betragen die Blattverschiebungen der pleistozänen Schotter 10—25 km (genaue Details der feldgeologischen Grundlagen, welche zur Annahme dieser Verschiebungsbeträge führen, siehe: L. F. NOBLE, 1954, J. C. CROWELL, 1952 a und 1958 b, M. L. HILL und T. W. DIBBLEE, 1953).

Hypothetisch wird die Sache erst, wenn nun auch versucht wird, die in der Tertiärzeit stattgefundenen Verschiebungen an Hand betreffender Rechtsseitenversetzungen feldgeologisch kartierter Grenzen im Tertiär beiderseits der San Andreas-Störung zu rekonstruieren. Ich hatte Gelegenheit, Herrn T. W. DIBBLEE vom U. S. Geological Survey auf Exkursion zu begleiten, der seit Jahrzehnten beiderseits der San Andreas-Störung kartiert und diese daher sehr genau kennt. Er ist der Meinung, daß sehr hohe Verschiebungsbeträge für die Tertiärzeit gelten und seine Kartierungen dienen vielfach als Grundlagen der Rekonstruktion (M. L. HILL und T. W. DIBBLEE, 1953). Die Gesteine, die wir auf der Exkursion sahen, sind beiderseits der Störung zerquetscht. Mitunter findet man kilometerweit keinen frischen, der Zertrümmerung nicht anheimgefallenen Fels. Der neueren Zusammenfassung von J. C. CROWELL (1958 b) entnehmen wir folgende Beträge der Rechtsseitenverschiebung an der San Andreas-Störung seit:

Pleistozän	10—25 km
Pliozän	76 km
Obermiozän	104 km
Oligozän	280 km
Eozän	380 km.

Die Geodäsie liefert dazu den Wert: 5 cm als mittleren Verschiebungsbetrag pro Jahr im Zuge der Überprüfungen des Triangulierungsnetzes. Skeptisch und an die betreffenden Diskussionen im Alpenraum gewöhnt, habe ich meinen Ohren kaum glauben können, als ich wahrnahm, daß die Geologen in Kalifornien recht allgemein an die Realität und Fehlerfreiheit der betreffenden geodätischen Meßergebnisse glauben. Auf Grund dieser Messungen zeige es sich, daß die Blattverschiebung an der San Andreas-Störung einerseits rezent Jahr für Jahr langsam weiterschreite, andererseits in Spannungen übergehe, welche dann Erdbeben auslösen und dabei größere plötzliche Verschiebungen im gleichen Sinne bewirken. Ich erfuhr, daß die Fehlerquellen gering wären, weil die sogenannten „alten“ Triangulierungen, die mit den neuen verglichen werden, nicht älter sind als 25 Jahre. Sie wurden mit derselben Exaktheit, mit denselben Methoden und häufig sogar von demselben Geodäten ausgeführt wie die neuen. Beschreibungen der Vermessungen und Ergebnisse siehe C. A. WHITTEN (1955 und 1956). Bei unserem feldgeologischen Arbeitsgebiet im Imperial Valley soll z. B. die Rechtsseitenverschiebung beiderseits der San Andreas-Störung 1,3 m für den Zeitraum von 1941 bis 1954 betragen haben. Das große Erdbeben im Imperial Valley im Jahre 1940 verursachte Horizontalverschiebungen von 4,5 m Länge. Man beschäftigt sich jetzt im U. S. Coast and Geodetic Survey systematisch mit der Wiederaufnahme „alter“ Triangulierungen in geologisch interessanten Teilräumen.

Am Kontinent ist die San Andreas-Störung 1000 km lang aufgeschlossen, und zwar vom Kap Arena nördlich San Francisco bis zu den Orocochia Mts. Mit Hinzurechnung der unter dem Meer liegenden Teile wird ihre Gesamtlänge auf 3000 km geschätzt, und zwar soll ihre geradlinige Fortsetzung im Pazifik NNW Kap Arena, sowie ihre Fortsetzung im Golf von Kalifornien durch die Aneinanderreihung von Epizentren der Erdbeben markiert sein. Ferner ist es gelungen, aus den Seismogrammen die Rechtsseitenverschiebung in den Herdgebieten von Beben der San Andreas-Störung nachzuweisen (Richtung der ersten Bebenstöße, siehe B. GUTENBERG, 1956). Meine Kollegen D. B. MCINTYRE und J. M. CHRISTIE (1957) benützen für die geologische Auswertung des Richtungssinnes an Blattverschiebungen bei Erdbeben des pazifischen Raumes in Zusammenarbeit mit dem kanadischen Physiker J. H. HODGSON gefügekundliche Symmetrie-Überlegungen und die stereographische Projektion. Das Gesamtphänomen der San Andreas-Störung und der zahlreichen kleineren Störungen Kaliforniens wird heute im Rahmen der Probleme des pazifischen Raumes betrachtet. Japan, die Marianen, die Philippinen, Sumatra und Neuseeland zeigen große Blattverschiebungen (B. GUTENBERG, 1956). Auf den Marianen und Philippinen gibt es auch Linksseitenverschiebung, so daß H. BENIOFF's Hypothese einer einheitlichen Drehung des gesamten Pazifik-Untergrundes im Sinne gegen den Uhrzeiger zwar interessant, jedoch noch zu wenig gefestigt ist.

Der Zusammenhang von basischen Gängen und Vulkan- schloten im subvulkanischen Stockwerk des Colorado-Plateaus

Die obligate geologische Pilgerfahrt, 3 Tage zu Fuß im Grand Canyon, so wie sie P. TERMIER (1924) in unübertrefflicher Kunst geschildert hat, führte ich bereits im ersten Monat meines amerikanischen Aufenthaltes durch. Ich war daher stratigraphisch und tektonisch gut vorbereitet, als mich J. S. SHELTON zu einer zweitägigen Flugexkursion über dem Colorado-Plateau einlud. Wir flogen von Las Vegas über die nördlichen Plateaus und zurück längs des Canyons, mit Zwischenlandungen im San Juan-Becken (Farmington), in Monument Valley und in Marble Canyon. Neben der Übersicht über die Stratigraphie (H. E. GREGORY, 1932) und Tektonik (A. J. EARDLEY, 1951) des Colorado-Plateaus sind besonders die Ergebnisse im Zuge der Forschungen der letzten Jahre (Uran und Öl) bemerkenswert. So konnte Prof. V. C. KELLEY (1955), der jetzt als Nachfolger von Prof. W. H. BUCHER an der Columbia-Universität in New York wirkt, eine prächtige Strukturkarte des Colorado-Plateaus im Maßstab 1 zu 1,000.000 entwerfen. In den Erläuterungen zu dieser Karte (V. C. KELLEY, 1955) und in einer Arbeit von R. P. FISCHER (1950) wird die geologische Stellung der Uranlagerstätten geschildert (siehe auch Proceedings Intern. Confer. Atomic Energy 1956). Mehrere Jahre war hier eine Forschungsgruppe des U. S. Geological Survey mit 70 Geologen tätig. Sie stellten fest, daß genügend Uran da ist und lösten ihre Forschungsstelle dann wieder auf. Ich habe die Uranlagerstätten nicht gesehen.

Zum Profil des Grand Canyon bei Canyon City sei bloß ergänzend zur Darstellung von P. TERMIER bemerkt, daß die Faltenachsen im Archäikum vertikal stehen (E. B. KNOPF, 1938). Ich beobachtete zusätzlich, daß gelegentlich auftretende Falten im Proterozoikum horizontale Achsen aufweisen, z. B. die Falte SE der Einmündung des Garden Creek in den Colorado-Fluß. Man trifft am Weg von der Hängebrücke zur Mündung des Garden Creek auch im steilachsigen gefalteten Archäikum jüngere horizontale Scherflächen und Lineationen, deren Beziehung zu den Faltenachsen im Proterozoikum noch zu untersuchen ist. Besonders interessant sind die beiden großen Diskordanzen, zwischen Archäikum und Proterozoikum einerseits und zwischen Proterozoikum und Kambrium andererseits. Dabei ist das hügelige Relief mit Härtlingsrücken (Monadnocks) der subkambrischen Denudationsfläche erhalten und das Arkosekonglomerat des Kambrium liegt an den Flanken der begrabenen Hügel (R. P. SHARP, 1940).

Über dem Grundgebirge folgt die rund 4000 m mächtige, hauptsächlich aus Redbeds neben marinen Kalken usw. bestehende Sedimentserie, die bis ins Eozän reicht. C. B. HUNT (1953 und 1956) vom U. S. Geological Survey, mit dem wir in Death Valley (siehe unten) Exkursionen machten, und der eine große Monographie über die Henry Mts. am Colorado-Plateau schrieb, nimmt an, daß das Colorado-Plateau noch von weiteren, sehr mächtigen tertiären Sedimenten eingedeckt war, bevor die Hebung und Erosion des Gebietes im Pliozän begann. Auch die klassischen GILBERTSchen Lakkolithen der Henry Mts. (G. K. GILBERT, 1877) und der ausgedehnte basaltische Vulkanismus dürften pliozänes Alter besitzen, wobei Wirbeltierreste und frische Aschenkegel anzeigen, daß der Vulkanismus im Pleistozän andauert und wahrscheinlich noch in historische Zeit hineinreicht. Das Colorado-Plateau ist bekanntlich ein von den Rocky Mts. allseits eingefasster Rest des alten Schildes Laurentia und die flachliegende

Sedimenttafel über dem Grundgebirge zeigt nur einige großräumige Dome, Flexuren und einzelne Brüche, welche vom Flugzeug vorzüglich erkennbar sind. Da das Eozän stellenweise über solchen Störungen transgredierte, nimmt man an, daß es sich um Auswirkungen der laramischen Bewegungen handelt. Für diese großräumigen und schwachen Deformationen ist das Flugzeug ein geeignetes Beobachtungsmittel und die tektonischen Bleistiftskizzen und Linien, die man während des Fluges auf den Karten im Maßstabe 1 : 500.000 zur eigenen Orientierung einträgt, erstrecken sich über mehrere Blätter von der Größenordnung der VETTERS'schen geologischen Karte von Österreich.

Am Rande der Monzonit- und Syenitberge der Lakkolithe der Henry Mts. biegt die Sedimenthaut über den Lakkolithen steil empor. Prachtvoll ist der weiter südlich gelegene, weithin sichtbare Einzelberg, der sogenannte Navajo Mt. Hier ist nur der steile Sedimentdom aufgeschlossen (jurassische und oberkretazische Redbeds), unter denen das Intrusivgestein verborgen bleibt, auf dessen Existenz man aber mit großer Sicherheit auf Grund der ganzen Aufschlußreihe der Lakkolithe rückschließen kann. Die steile Kuppel des Navajo Mt. ragt 1000 m über das angrenzende Hochplateau und hat in Plateauhöhe einen kreisförmigen Querschnitt von 10 km Durchmesser (A. A. BAKER, 1936). Ich erhielt den lebendigen Eindruck der mir bisher nur aus Lehrbüchern bekannten Intrusionstumore.

Die subvulkanischen Zufuhrschlote (Necks) der ausgedehnten plio- und pleistozänen Basaltdecken des Colorado-Plateaus sind durch Erosion stellenweise vortrefflich freigelegt. Die senkrechten schwarzen, zylinderförmigen Necks bestehen aus Minette und Minette-Tuffbreccie. Sie überragen wie riesenhafte Baumstrünke die rote Wüstenebene (triadische Chinleformation) zwischen Monument Valley und Farmington. Der gewaltigste unter ihnen trägt den Namen Shiprock und befindet sich genau über dem Treffpunkt von drei saigeren, langhinstreichenden, geradlinigen Minettegängen, von denen jeder infolge seiner Härte als schwarze Mauer aus den flach liegenden umgebenden roten Tonen der Chinleformation aufragt (H. WILLIAMS, 1936).

Die Aschenkrater und Basaltströme des Oberflächenvulkanismus sind vielfach ganz frisch erhalten. So sitzt z. B. der Aschenkegel mit dem Namen „Volcanos Throne“ am Hochplateau neben dem Rand des 2000 m tief eingeschnittenen Grand Canyon, in einer selten besuchten, unwegsamen Gegend, der Luftlinie nach halbwegs zwischen Grand Canyon City und dem großen Stausee Lake Meade. Die Lokalität heißt Tuweep. Hier sieht man vom Flugzeug mehrere Basaltzungen, die sich vom Plateau in prächtigen Kaskaden über die Steilwand bis zum Grund des Canyon ergießen und als dicke schwarze Fladen an den grellroten Canyon-Wänden kleben. Die Kartierung der Sohle des Canyon ergab (J. H. MAXSON, 1949), daß sich diese Basaltströme am Talgrund zu einem Lavastrom vereinigten, der sich im windungsreichen Canyon noch 140 km weiterwälzte, wobei der Fluß aufgestaut wurde. Diese Eruptionen spielten sich wahrscheinlich im Pleistozän ab.

Das Große Becken. Alpinotype Überschiebungen. Jungtektonische Bruchbildung. Die Rückerosion der tektonischen Steilböschungen. Pluvialzeiten. Ignimbrite

Nähert man sich vom Colorado-Plateau dem abflußlosen Großen Becken, so gehen die epikontinentalen, häufig als Redbeds entwickelten, paläo- und mesozoischen Sedimente in mächtige geosynklinale, vorwiegend marine Serien

über. Ein Musterbeispiel dafür ist der harte Coconino-Sandstein (permischer Dünensand mit Kreuzschichtung), den man in den Canyon-Wänden allmählich nach W auskeilen sieht, und das Einsetzen mächtiger permischer Kalke in den Spring Mts. an Stelle der Supai-Redbeds (C. O. DUNBAR, 1957, p. 295).

Gleichzeitig erscheinen alpinotype, E-vergente tektonische Bewegungsbilder in den Wüstenketten rund um Las Vegas. Wir sahen das unter Altpaläozoikum auftauchende Jurafenster der Muddy Mts. (C. R. LONGWELL, 1949), die nach E umgeschlagenen Liegendfalten der Frechman Mts. (C. R. LONGWELL, noch unpubliziert) und den 100 km langen Ausbiß der N—S-streichenden Keystone-Überschiebung in den Spring Mts. Die Gesteine fallen flach gegen W ein. Auf mesozoischem Sockel liegt als Schubmasse die 7 km mächtige, aufrechte paläozoische Serie der Spring Mts., die vom Kambrium bis zum Perm reicht (D. F. HEWETT, 1931, und unpublizierte Beobachtungen von C. R. LONGWELL und J. S. SHELTON). Diese erst in neuerer Zeit näher studierten E-vergenten Aufschiebungen im Gebiete von Las Vegas markieren die E-Front der alpinotyp gefalteten Kordilleren gegen das Vorland (Colorado-Plateau und germanotype Rockies). Es handelt sich regionaltektonisch um die südliche Fortsetzung der altbekannten, großen, E-vergenten Lewis-Überschiebung der Kordillerenfront in Montana und Alberta (PH. B. KING, 1932, H. STILLE, 1940, p. 174).

Bisher sind die alpinotypen Strukturen des westlich anschließenden Großen Beckens noch nicht entziffert. Das Gebiet ist durch junge Bruchtektonik zerstückelt und in N—S-streichende Horste und Gräben aufgelöst. In den Horsten sieht man ungemein komplizierte Falten, Überschiebungen und Riesenbreccien, die wohl in Einzelfällen studiert und auch von uns auf mehreren Exkursionen besucht wurden: Turtlebacks und Riesenbreccien in den Black Mts.; gefaltetes Kambrium in den Panamint Mts. und Inyo-Kette; präkambrische Konglomeratgneise mit Längung der Gerölle parallel zur Faltenachse im Wildrose-Canyon (L. F. NOBLE und L. A. WRIGHT, 1954; L. A. WRIGHT und B. W. TROXEL, 1954). Doch fehlt es noch an Detailkartierungen, welche den komplizierten Bewegungsbildern maßstablich gerecht würden. Und dazu kommt, daß jede dieser Ketten bloß einen Horst zwischen den mächtigen Pedimenten, den Dünenzügen und den weiten Salzkrusten in den tektonischen Einbruchsgräben darstellt, so daß die tektonischen Linien stets wieder unterbrochen sind. Die STILLESche Auffassung (1940) einer in diesem Gebiete anzunehmenden Grenze zwischen E-vergenten Rockyiden und W-vergenten Nevadiden bleibt vorläufig hypothetisch.

Der eigenartige, sehr exotische Landschaftscharakter wird durch das aride Klima und die Jugendlichkeit der hauptsächlich N—S-streichenden, vertikalen tektonischen Störungen hervorgerufen. Die Horste erheben sich unmittelbar mit steilen Felsflanken mehrere 1000 m über die Gräben (Mt. Whitney 4410 m, Owens Valley 1000 m, Panamint Range 3500 m über Meeresebene; tiefste Stelle im Death Valley 90 m unter Meeresebene). Die kontinentalen Tertiärschichten einschließlich des kontinentalen Pliozäns und stellenweise Wirbeltierreste enthaltender pleistozäner Fanglomerate, Konglomerate und Sande (z. B. Red Rock-Canyon) sind gekippt oder steil aufgerichtet. Tektonische Gräben schneiden sogar quer durch junge Schuttkegel durch: Modellförmig aufgeschlossen im Schuttkegel des Wildrose-Canyon am W-Fuße der Panamint-Kette (R. H. JAHNS, 1954, p. 14), wo ich diese Erscheinung sowohl zu Fuß als auch vom Flugzeug studieren konnte.

Da die Horste sich meist an tektonischen Störungen, welche noch rezent tätig sind, gegen die Senkungszonen absetzen, laufen sehr häufig sogenannte fault

scarps (Störungsböschungen, tektonische Steilböschungen) parallel zum Streichen der Horste über die Schuttkegel. Sie versetzen die jungen Schuttkegel um Zentimeter bis einige Meter und bilden markante Steilstufen. Die älteren fault scarps wittern zurück und biegen hufeisenförmig als Erosionsterrassen in die Trockentäler ein; die jüngsten fault scarps streichen schnurgerade. Man kann so die allmähliche Rückwitterung dieser rein tektonischen Bruchstufen verfolgen. Manchmal trifft man auch mehrere Generationen solcher Bruchstufen ineinander geschachtelt, wobei die älteren jeweils etwas höher im Hang liegen (sekundäre Rückerosion) und in die querenden Tälchen terrassenförmig einbiegen, während die jüngeren sich etwas tiefer am Hange befinden und gerade verlaufen.

Im Vergleich zu den Alpen, wo morphotektonische Betrachtungen einen stark hypothetischen Charakter haben und man gewöhnt ist, die fluviatile Terrassenbildung möglichst nicht tektonisch, sondern durch eine „plötzliche“ Tieferlegung der Erosionsbasis zu erklären, sind diese Beobachtungen ungemein lehrreich. Wir haben uns damit im Death Valley befaßt. Wertvolle Anregungen danke ich Herrn Prof. Dr. G. ORTEL, der mich auch auf die H. CLOOSSCHEN Erkenntnisse der Erhaltung der Flächen in aridem Klima bei gleichzeitiger Rückerosion der Steilwände (z. B. E-afrikanische Gräben) aufmerksam machte.

Im Death Valley treten die Rückwitterungen eindeutiger fault scarps wenige Meter neben der Erosionsbasis (Lokalität bad water, 90 m unter Meeresniveau) auf. Die endogene tektonische Anlage der hufeisenförmigen Terrassen in den kleinen Trockentälchen, welche kontinuierlich in die fault scarps der benachbarten Hänge auf den Schuttkegeln übergehen, ist hier klar. Man steht eindeutig vor der Tatsache, daß ruckweise tektonische Vertikalbewegungen Steilstufen schaffen, die anschließend während der alle paar Jahre erfolgenden Wasserführung in diesen Trockentälchen trichterförmig oder hufeisenförmig zurückverlegt werden, wobei sie den Charakter fluviatiler Terrassen annehmen.

Einzelne fault scarps werden mit Jahreszahlen benannt, weil ihre Entstehung bei den betreffenden Erdbeben beobachtet wurde. Mitunter findet man gleich den Friedhof der beim Erdbeben Umgekommenen neben der fault scarp; z. B. in Owens Valley an der 2 m hohen fault scarp des großen kalifornischen Bebens von 1885, nördlich der Lokalität Lone Pine. Örtlich ist zu beobachten, daß an derselben tektonischen Störung periodisch alle paar Jahre neue fault scarps entstehen. Man sieht in solchen Fällen (z. B. Death Valley-W-Flanke, gegenüber bad water) mehrere Generationen dieser fault scarps am schuttbedeckten Hange übereinander. Die ältesten sind am weitesten den Hang aufwärts zurückgewittert und affizieren nicht mehr den jüngsten Deltaschutt, der aus den Trockentälern kommt. Die jüngeren fault scarps liegen tiefer am Hang und sind gerade verlaufend und erweisen sich schachtelförmig in die älteren eingeschaltet, wobei sie auch noch den jüngsten Schutt verwerfen.

Es haben auch ganz junge Blattverschiebungen stattgefunden. Dr. SHELTON zeigte mir vom Flugzeug aus rechtsseitenversetzte Salzfließlinien an der medianen Death Valley-Störung, die den südlichen Abschnitt des ausgetrockneten Death Valley-Salzsees durchschneidet. Wir flogen knapp über dem Lauf des pleistozänen Mojave-Flusses und studierten die verschiedenen pleistozänen Seestände mit alten Brandungsterrassen, Strandgeröllen und Kiesbänken.

Während der Pluvialzeiten, die mit den 4 pleistozänen Vereisungen der Sierra Nevada zeitlich gleichgesetzt werden, war das Große Becken ein wasserreiches Gebiet. Der Mojave-Fluß hatte seinen Ursprung in der Nähe des Cajon-Passes und floß während der letzten Pluvialzeit über Victorville, Barstow zum Soda-

und Silver-Lake und von hier in den großen abflußlosen Binnensee des Death Valley (Lake Manly). Dorthin mündeten auch die Ströme mit zahlreichen Seen aus der E-Flanke der Sierra Nevada: Owens-, China-, Searles- und Panamint-Lake (E. BLACKWELDER, 1954 a).

Neuere, noch unpublizierte Untersuchungen der Geologen des U. S. Geological Survey Dr. C. B. HUNT und Dr. A. BASSET, mit denen wir Exkursionen machten, ergeben eine feinere zeitliche Untergliederung der letzten Pluvialzeit und der postpluvialen Ereignisse. Die Frau des Geologen HUNT ist Archäologin und zeigte uns im Death Valley ihre Aufsammlungen und die zahlreich vorhandenen indianischen Steingräber auf den Schuttkegeln, sowie die Artefaktenfunde auf den pleistozänen Strandterrassen. Sie kann vier Indianerkulturen unterscheiden, die den Zeitraum von der letzten Pluvialperiode bis zum Erscheinen des weißen Mannes umfassen.

Die Wüstenlack-Bildung (Krusten aus Eisen und Mangan) wird heute nicht mehr als Ausschwitzung kapillarer Porenlösung im Gestein gedeutet. Man nimmt vielmehr an, daß Eisen und Mangan durch die Tätigkeit von Bakterien, Algen und Flechten aus dem Staub der Luft absorbiert wird (E. BLACKWELDER, 1954 b). Das mosaikförmige Wüstenpflaster bildet sich im Zuge selektiver Winderosion. Zur Entstehung von Wüstenlack und Wüstenpflaster sind auf Grund von Erfahrungen in Ägypten mehrere tausend Jahre erforderlich. Je nach Vorhandensein oder Fehlen dieser Bildungen unterscheidet C. B. HUNT ältere und jüngere Schuttkegel im Death Valley, was auch mit den archäologischen Daten übereinstimmt.

Über den N—S-streichenden Störungslinien sitzen zahlreiche Vulkane mit häufig noch sehr frisch erhaltenen Aschenkegeln. In Owens Valley beobachteten wir verschiedenes zeitliches Verhältnis zwischen Aktivität der fault scarps und Bildung der basaltischen Vulkankegel. Zum Beispiel ist der basaltische Aschenkrater Crater Mt. älter als die jüngste Betätigung der fault scarp; er wird von ihr zerschnitten. Hingegen sitzt der Kraterkegel Red Mt. ungestört auf derselben fault scarp. Er ist also jünger. Neben Basalten finden sich auch Andesite und Rhyolithe.

Nördlich Bishop in Owens Valley besichtigten wir den von C. M. GILBERT (1938) beschriebenen glasigen Rhyolithuff (welded tuff oder ignimbrite). Er hat pleistozänes Alter, da er zwischen zwei Moränen der Sierra Nevada-Vereisungen eingelagert ist. Das Tuffvorkommen zeigt große flächenmäßige Ausdehnung und ist 160 m mächtig. In den oberen Teilen liegen Lapilli (eckige Bruchstücke porphyrischen Bimssteintuffes) in einer porösen, glasigen bis kristallinen Grundmasse. Tiefer unten nimmt das Gestein einen mehr massigen Charakter an. Der Tuff wird von einer Glutwolkeneruption, analog den nuées ardentes der Montagne Pelée, abgeleitet.

Nevadische Orogenese. Transgression der Oberkreide. Jungmesozoische bis alttertiäre Granodioritplutone und ihre Verknüpfung mit Migmatitgneisen. Tiefenwulst der Erdkruste unter der Sierra Nevada

Die große Orogenese in den westlichen Kordillern (bei uns als Nevadische Orogenese, in Kalifornien derzeit meist als Cordilleran revolution bezeichnet) wird von den in den Kordillern tätigen Geologen heute nicht mehr in die Zeit des obersten Jura (zwischen Kimmeridge und Portland) oder zwischen Oberjura und Unterkreide, sondern in die tiefere Oberkreide (vorgosauische

Phase) gelegt. Dieser Umschwung der Meinungen hat mich natürlich sehr erstaunt, da wir ja gewöhnt sind, nach H. STILLE (1924 und 1940) den BLACKWELDETSCHEN Begriff „nevadisch“ mit jungkimmerisch gleichzusetzen und der großen Gebirgsbildung in den westlichen Kordilleren zuzuordnen.

Es hat sich jedoch in den letzten Jahren herausgestellt, daß die auf der Halbinsel Kalifornien (Mexiko) bekannten Verhältnisse (A. J. EARDLEY, 1951) auch für das Gebiet um die Sierra Nevada und das Nördliche Kaskadengebirge gelten. Und zwar ist die Unterkreide noch im gefalteten und teilweise metamorphen „basement“ enthalten. Als „basement“ bezeichnet man in Kalifornien die von der Cordilleran revolution betroffenen Gebirgsglieder, also das kristalline Grundgebirge samt Paläo- und Mesozoikum einschließlich Unterkreide. Erst die höhere Oberkreide transgrediert über dem basement. Sie ist der Beginn der nicht metamorphen Sedimentserie des Oberbaues.

Auch die radioaktive Altersbestimmung an den großen granodioritischen Plutonen (Nördliches Kaskadengebirge, Sierra Nevada, Südkalifornischer Batholith usw.) ergab zur Hauptsache ein jüngerer Alter als Oberjura. Die Werte variieren zwischen Oberjura und Alttertiär mit Schwerpunkt in der Oberkreide.

Der locus typicus der nevadischen Orogenese (E. BLACKWELDER; H. STILLE, 1924, p. 143 und 1940, p. 176), wo Winkeldiskordanz zwischen Kimmeridge und Portland besteht, befindet sich westlich, weit außerhalb der Sierra Nevada. Diese Winkeldiskordanz wird von den kalifornischen Kollegen derzeit bloß als eine untergeordnete Vorläuferbewegung betrachtet, welche mit der eigentlichen großen Orogenese der Sierra Nevada und der gesamten westlichen Kordilleren überhaupt (Nevadiden STILLES) nicht identisch sei. Sondern diese sei jünger und jedenfalls intrakretazisch, so wie es ja auch für viele andere Gebirge, z. B. südamerikanische Kordilleren, gilt. Mir selbst war es nicht vergönnt, die im basement steckende Unterkreide zu Gesicht zu bekommen. Jedenfalls war ich beeindruckt, bei den Geologen in Seattle, San Franzisko und Los Angeles Einmütigkeit bezüglich der Einstufung der nevadischen Orogenese (Cordilleran revolution) an die Grenze von Unter- und Oberkreide, bzw. in den tieferen Teil der Oberkreide (vorgosauische Gebirgsbildung) anzutreffen. Man wird einer zusammenfassenden Darstellung der Beweiskette, welche diesen Umschwung der Meinungen hervorbrachte, in Zukunft mit Interesse entgegensehen. Ich konnte leider keinen näheren Einblick erhalten, da die meisten Daten noch unpubliziert sind.

Die prächtige Transgression der höheren Oberkreide über steil stehender Trias (durchbewegte rostige Tonschiefer mit Sandsteinzwischenlagen, *Halorella* und *Juvavites*) und Jura (Porphyrite und Tuffe) sah ich in den Santa Anna Mts., südlich Pomona-College. Das Basalkonglomerat der Oberkreide ist hier mehrere Meterzehner mächtig, liegt beinahe horizontal und ist grob gebankt. Die im Sandstein eingebetteten Blöcke haben stellenweise über 1 m Durchmesser. Sie bestehen aus Granodiorit, Granit, Aplit, Gneis, Amphibolit, Kieselschiefer, Sandstein, schwarzer Breccie und aus den jurassischen Porphyriten und Tuffen. Über dem Basalkonglomerat folgt marines fossilreiches Senon mit Schiefertone, Mergel und Sandstein. Damit beginnt der Oberbau, nämlich die 13 km mächtige Beckenfüllung des Los Angeles-Beckens, die mit Unterbrechungen sämtliche Tertiärstufen und noch das Pleistozän, im küstennahen Abschnitt marin entwickelt, mitenthält.

Den jungmesozoisch bis alttertiären Granodioritkörper mit seinen granitischen Abarten und basischen Fischen (Diorit und Gabbro), der die Narbe in den Kordilleren von Alaska bis Mexiko füllt, habe ich an vier Stellen kennengelernt:

a) In den Nördlichen Kaskaden bei Seattle, nahe der kanadischen Grenze. b) In der Sierra Nevada im Stanislaus National Forest und im bekannten Yosemite Park (F. E. MATTHES, 1930; E. CLOOS, 1936). c) In den San Gabriel Mts. nördlich Pomona College. d) Im sogenannten Südkalifornischen Batholith (E. S. LARSEN, 1948) in den Jurupa Mts. südöstlich Pomona-College und am Fuße des San Jacinto Peak bei Palm Springs. Außerdem sammelten wir an mehreren Stellen im Großen Becken und auch an der pazifischen Küste bei Monterey Proben aus anstehenden Granodiorit- und Granitstöcken jungmesozoisch bis alttertiären Alters. Sie sind nämlich nicht bloß auf die Narbe beschränkt; sie stoßen auch weit östlich und westlich der Sierra Nevada als kleinere Plutone durch.

Im Nördlichen Kaskadengebirge fand P. MISCH (1952) enge Beziehungen zwischen granodioritischem Migmatitgneis (Skagitgneis) und Granodioritplutonen (Chilliwack- und Golden Horn Granodiorit). Auf Anregung von Prof. E. WEGMANN konnte ich Prof. P. MISCH in Seattle besuchen und die Übergänge zwischen Migmatitgneis und Pluton kennenlernen. Er arrangierte für mich eine Exkursion im Skagit-Tal und ich durfte mir im Laboratorium die reichhaltigen Gesteins-sammlungen und Dünnschliffe ansehen. Die Mineralfazies dieser Serien entspricht der Amphibolit- und lokal der Pyroxenhornfelsfazies. Es fehlen die aus den Alpen vertrauten Gesteine der Albit epidot amphibolitfazies. Gesteinskundliche Ähnlichkeit besteht zu den periadriatischen Intrusiven und zu den tiefstpenninischen, von E. WENK in Bearbeitung befindlichen Gneisen des Tessin (Coccodiorit, Verzasca-Granodioritgneis). Es tritt z. B. gerade so wie im Tessin auch im Dioritgneis des Nördlichen Kaskadengebirges Großkornepidot als gleichwertiger gesteinsbildender Gemengteil zusammen mit ungefülltem Oligoklas bis Andesin auf. Gefüllte Plagioklase kommen selten vor. Sie sind auf hysterogene Umwandlungen beschränkt.

Umgeben von diesen nordischen, märchenhaft schönen, von uralten Baumriesen und üppigem Grün umrankten Tälern mit den an die Alpen erinnernden felsigen Matten über der Baumgrenze und den wilden Bergformen darüber verbrachte ich in Seattle unvergeßliche Tage in der Gesellschaft offenerziger und gediegener Bergsteiger. Prof. MISCH, der den Alpengeologen besonders durch seine Beobachtungen am Nanga Parbat (Deutsche Expedition 1934) bekannt ist und der auf Grund seinerzeitiger Studien in Graz auch die kristallinen Zonen der Ostalpen kennt, leistet seit Jahren geologische Pionierarbeit in den Nördlichen Kaskaden. Das Gebirge ist alpinistisch schwierig und vor allem mangelt es an Wegen und Unterkünften. Hier hat die Technik noch kaum ihren Einzug gehalten und der Geologe muß tagelang all seinen Bedarf selbst im Rucksack mittragen. In dieses wundervolle einsame Gebirge kommen bergbegeisterte Geologiestudenten aus allen Teilen der USA, um bei P. MISCH ihre thesis zu machen. Dementsprechend beschaffen ist auch der Arbeitsgeist des geologischen Instituts an der Universität des Staates Washington in Seattle, wo sich MISCH in vorbildlicher Weise um seine Studenten bemüht und man Augenzeuge einer Pionierleistung der Erforschung eines großen, schwierigen, bisher geologisch so gut wie unbekannt gewesenen Gebirges wird. Der Assistent Dr. JOE VANCE war ein Jahr als Fullbright-Stipendiat in Graz. Er führte mich im Skagit-Tal. Dort sahen wir auch die von P. MISCH derzeit im Detail studierte glaukophanhältige Grünschieferserie (Shakson-Serie). In Seattle aßen wir Braten von einem Elch, den vor meiner Ankunft einer der Geologiestudenten unweit der Stadt geschossen hatte und wir betrieben mit dem Motorboot Lachsfang am Puget-Sund mit dem Ausblick auf die an japanische Bilder erinnernden hohen Vulkane (Mt. Rainier u. a.)

und auf die wilden Zacken der ganz jung emporgehobenen, aus tertiären Sedimenten aufgebauten, gefalteten Küstenkette der Olympic Mts.

Die bekannten Landschaftsbilder und Gesteine der Sierra Nevada (Yosemite Park, Stanislaus National Forest) und der alten Goldgräber-Reste im 200 km langen und etwa 1,5 km breiten, von Goldquarzgängen und Serpentin-Felsen durchzogenen Gebietsstreifen am W-Fuß der Sierra Nevada (Mother Lode Revier) lernte ich auf einer mehrtägigen Kraftwagen-Exkursion mit dem Botaniker EDWARD F. ANDERSON vom Pomona-College kennen. Wie am Radhausberg bei Gastein so heißt auch dort das in Quarz feinverteilt eingesprengte Gold „Grauerz“. Auch heute noch sind Stufen mit Freigold im Mother Lode Revier häufiger als bei Gastein. Sie werden in Kaufläden an Touristen abgegeben. Der Bergbau ging bis 1500 m Tiefe, ohne einen Teufenunterschied erkennen zu lassen (A. KNOFF, 1933; Geologic Guidebook Highway 49, 1948). Die Talstrecken in dieser Hügellandschaft am W-Fuß der Sierra Nevada stellen noch immer riesenhafte Halden der ehemaligen Seifengoldgewinnung aus hauptsächlich alttertiären Terrassenschottern dar. Ich gelangte auf die sehr eindrucksvolle Fastebene im Hochgebirgsterain der Sierra Nevada, indem ich zu Fuß vom Talgrund des Yosemite Parks aufstieg. Die KIESLINGERSchen Absonderungsflächen im makroskopisch regellos körnigen Granit und Granodiorit der bekannten Steilwände sind prächtig entwickelt. Oben breitet sich die einseitig pultförmig gekippte, wahrscheinlich miozäne Verebnungsfläche aus, die allmählich von W bis zu den höchsten Gipfeln im E ansteigt. Dort bricht das Pult jäh in der 3500 m hohen, pliozänen bis pleistozänen tektonischen Steilflanke (fault scarp) gegen Owens Valley ab, gesäumt von Basalkuppen am Fuß der Störung im Tal, einen phantastischen Blick der schneebedeckten Granitflanken gegen das Wüstental mit den ausgetrockneten Salzseen bietend.

Wenig klar ist noch die Stellung der Migmatitgneise zu den Granodioritplutonen in den San Gabriel Mts. Die Gneise werden hier zum Präkambrium gerechnet. Doch scheinen auch Beziehungen zu den jungmesozoischen bis alttertiären Plutonen zu bestehen. Das granodioritische Gestein des südkalifornischen Batholiths erinnert in den Jurupa Mts. mit mineralreichen Kalkkontakten und vielen basischen Fischen an den Tonalit des Adamello.

Ich hörte am 15. Oktober 1957 in Pasadena einen Vortrag von Prof. FRANK PRESS (Nachfolger des emeritierten Prof. B. GUTENBERG) über den neuen Nachweis der Existenz von Gebirgswurzeln (Tiefenwulste der Erdkruste unter den Gebirgen) mit Hilfe der Oberflächenwellen natürlicher Fernbeben, wobei Prof. GUTENBERG selbst die einführenden Worte sprach. Das Prinzip (siehe auch B. GUTENBERG, 1957) besteht in folgender Erkenntnis: Die bei natürlichen Erdbeben auftretenden Oberflächenwellen laufen nicht nur an der Erdoberfläche, sondern dringen auch in die Erdkruste, zumindest bis zur Mohorovic-Diskontinuität ein, wobei sie sich in den dichteren, tieferen Zonen rascher fortpflanzen als in den leichteren, höheren. Es existiert also eine Abhängigkeit zwischen der beobachtbaren Geschwindigkeit der Oberflächenwellen und der Dicke der leichteren Erdkruste (Tiefe der Mohorovic-Diskontinuität). Die Conrad-Diskontinuität ist in Nordamerika wenig deutlich. F. PRESS zeigte Karten von Nordamerika, in denen die Laufzeitkurven der Oberflächenwellen pazifischer Fernbeben eingetragen waren. Es ist nun eine Erfahrungstatsache und konnte an Hand zahlreicher Beben beobachtet werden, daß die Oberflächenwellen mit ganz charakteristischen Kurven auf der Landkarte den Kontinent von W nach E durchziehen. Aus diesem, für die großen pazifischen Fernbeben mehr oder minder

konstanten Strukturbild der Laufzeitkurven wird die Tiefe der Mohorovic-Diskontinuität für die verschiedenen Teile des Kontinents ermittelt. Als Resultat ergibt sich, daß unter der Sierra Nevada die Mohorovic-Diskontinuität etwa 30 km tiefer liegt als unter dem flachen Tafelland der Mississippi-Gegend, während unter den Appalachen abermals ein zwar kleiner, aber doch deutlich erkennbarer Tiefenwulst des leichteren Materials vorhanden ist. Es wurde auch darauf hingewiesen, daß russische Forscher gleichzeitig und selbständig die Auswertung der Oberflächenwellen natürlicher Erdbeben zur Bestimmung der jeweiligen Erdkrustendicke gefunden haben, wobei sie einen Tiefenwulst unter dem Altai nachweisen konnten.

Küstenkette, Franciscan-Serie, Submarine Geologie im Pazifik

Die regionalgeologische Beziehung zwischen Pazifik und Kordilleren ist bekanntlich eine noch ziemlich ungelöste Frage. Die Franciscan-Serie der Küstenkette zeigt W-Vergenz und sieht mit ihren Serpentinklippen, Grünschiefern, Tonschiefern, Quarziten und Hornsteinen einer unterostalpinen bis penninischen Serie der Alpen recht ähnlich, was sich dazu noch landschaftlich im saftigen Grün der Küstenkette mit ihren Blumen, hügeligen Weideflächen, Rinderherden, eigenwillig nach E einfallenden Schichtköpfen und steil aufragenden Serpentinsschollen auch rein gefühlsmäßig einprägt. Im Gebiet um den Pacheco-Paß (zwischen Fresno und San Jose) meinten DONALD MCINTYRE und ich, wir wären beinahe zu Hause, nämlich in den Alpen. Die Franciscan-Serie wird auf Grund von Fossilfunden in ihren wenig metamorphen Gliedern in den Jura gestellt.

L. KOBER (1928) und H. STILE (1940) sehen in den nordamerikanischen Kordilleren ein zweiseitiges Orogen mit wohlausgeprägtem E-Stamm, gewaltiger Granodioritnarbe (Sierra Nevada usw.) und einem nachträglich größtenteils im Pazifik versunkenen W-Stamm, dessen an das Pennin (L. KOBER, 1928) erinnernder Teil in der Franciscan-Serie der Küstenkette erhalten blieb.

Ein anderes, ebenfalls sehr eindrucksvolles Bild entwirft H. CLOOS (1928). Für ihn sind die Kordilleren eine Art „Randstörung“ des leichten Kontinents gegen den schweren Untergrund im Pazifik. Das Sima unterströmt den Kontinent und bewirkt dabei „die lebendige Tektonik“ Kaliforniens und des Großen Beckens mit ihren bis zur Gegenwart andauernden Orogenesen sowie die W-Vergenz in den Falten der Küstenkette und die E-Vergenz an der östlichen Außenfront der Kordilleren. Die von H. CLOOS auf Grund seiner Reisen besonders faszinierend geschilderten N—S-streichenden Horste und Gräben des Großen Beckens werden als Fiederklüfte zur Strömung gedeutet, die er als eine Strömung aus dem S annimmt. Es wird auch keine scharfe Trennung zwischen Orogenese und Epirogenese versucht. Die Gebirgsbildung geht einfach bis in die Gegenwart weiter. Im Grenzgebiet zwischen Ozean und Kontinent bilden sich immer wieder neue, lang hinstreichende Ketten und Becken. Es entspricht diese Ansicht der Dinge auch ziemlich weitgehend den Vorstellungen, welche man derzeit in Gesprächen bei den amerikanischen Kollegen vertreten findet und die in den meist knapp gehaltenen, im Vergleich zu den Gewohnheiten bei uns recht nüchtern, mitunter beinahe etwas phantasielos erscheinenden regionalgeologischen Zusammenfassungen nachgelesen werden können (PH. B. KING, 1932; H. S. GALE, 1932; A. J. EARDLEY, 1951; R. H. JAHNS, 1954 und 1958).

Die Franciscan-Serie der Küstenkette wird ebenfalls gerne als eine Art „Rand-

störung“ zwischen den geophysikalisch verschiedenen Medien des Pazifik (Sima) und des Kontinents (Sial) betrachtet. So erklärte mir Prof. Dr. G. C. KENNEDY (Geophysical Labor, University of California, Los Angeles) seine Hochdruckexperimente, welche seiner Ansicht nach überzeugend ergäben, daß die Mohorovic-Diskontinuität dem Übergang von Plagioklas (Erdkruste über der Mohorovic-Diskontinuitätsfläche) zu Jadeit plus Quarz (Erdmantel unter der Diskontinuität) entspräche. Seiner Meinung nach bildeten sich die Eklogite und das Mineral Lawsonit unter der Mohorovic-Diskontinuität. Sie wurden aus der Tiefe längs der Fuge zwischen Pazifik und Kontinent heraufgeschuppt und stellen heute einen tektonischen Fremdkörper in der Franciscan-Serie dar.

Wir sahen uns die Glaukophanschiefer, Eklogite und die klassische Fundstelle des Minerals Lawsonit der Franciscan-Serie unter Führung von D. B. McINTYRE auf der Halbinsel Tiburon, nördlich San Franzisko, an.

Westlich der Halbinsel stehen die kaum metamorphen, jurassischen Sandsteine, Tonschiefer, Basalte mit Kissenlaven und Hornsteine der Franciscan-Serie an. Auf der Halbinsel selbst sind die ebenfalls zur Franciscan-Serie gehörenden Ophiolithe, vorwiegend Grünschiefer und Serpentine, begleitet von Glaukophanschiefern, Lawsonit-führenden Glaukophangesteinen und Eklogiten aufgeschlossen. Zu dieser Ophiolithserie gehören ferner Talkschiefer und Aktinolithfels in Begleitung des Serpentin, einige Grünschiefervarietäten und Chloritschiefer, mannigfaltig zusammengesetzte Glaukophanschiefer, sehr viel roter Hornstein und außerdem sind echte Amphibolite in Begleitung der Eklogite vorhanden. Ein von uns gesammeltes glaukophanreiches Gestein, in dem Lawsonit einige Millimeter große Kristalle bildet, zeigt im Dünnschliff Granat, Glaukophan, Lawsonit, Chlorit, Muskowit, Epidot, Klinozoisit, rhomboedrisches Karbonat und Titanit.

Die alte Theorie, wonach nicht metamorpher Sandstein und Basalt an Serpentinkontakten allmählich in Glaukophanschiefer überginge, fanden wir im Felde nicht bestätigt. Es hat den Anschein, als ob tiefgreifende tektonische Kontakte (ziemlich scharfe N—S-streichende feldgeologische Grenzen) zwischen Sandstein-Tonschiefer-Basalt einerseits und den Ophiolithen andererseits bestünden.

D. B. McINTYRE und sein Schüler OLAF VAN WEST machten in den vergangenen Jahren feldgeologische Aufnahmen und petrographische Untersuchungen im äußersten W-Saum der kontinentalen Plattform gegen den Pazifik, und zwar auf den der Halbinsel Kalifornien (Mexiko) vorgelagerten Inseln San Benito und Cedros Island. Die Franciscan-Serie ist auf diesen vegetationsarmen Felseninseln besonders günstig aufgeschlossen und es wurden eingehend die Glaukophangesteine und ihre petrologischen Beziehungen zu den übrigen Bestandteilen der Franciscan-Serie beobachtet. Dabei gewannen McINTYRE und VAN WEST die Vorstellung, daß sich die Metamorphose der Ophiolithe in tieferen Teilen der Erdkruste zugetragen habe, wobei die Kontakte zu den kaum metamorphen Sandsteinen, Tonschiefern und Basalten hauptsächlich sekundärer und tektonischer Natur seien, zusammen mit sekundären Infiltrationen längs Klüftchen und Mylonit-Ruschelzonen. O. VAN WEST (1957) beschreibt die allmähliche Verdrängung von Pyroxen und Hornblende durch Glaukophan, gleichzeitig mit der Umwandlung von kalkreichem Plagioklas zu Albit und mit einer allgemeinen Albitisierung der Gesteine.

Auch R. N. BROTHERS (1954) verlegt die Metamorphose der Ophiolithe der Franciscan-Serie in größere Tiefe und faßt die Kontakte zu den nicht metamorphen Sandsteinen, Tonschiefern und Basalten als sekundär und tektonisch auf. Er unterscheidet zwei Mineralgenerationen: Die ältere besteht aus Granat,

Pyroxen, Hornblende und Rutil. Sie wird von der jüngeren Generation verdrängt, die sich aus Glaukophan, Epidot, Muskowit, Chlorit, Lawsonit, Pumpellyit, Titanit, Aktinolith, Albit und Stilpnomelan zusammensetzt.

Neben Diskussionen über Glaukophanschiefer-Fazies und die neuerdings offenbar unter den Tisch geworfene, gute alte und für die Alpen so wichtige BECKE-sche Epidotamphibolit-Fazies zeigte mir Prof. F. J. TURNER in seinem Institut in Berkeley auch Gesteine der neuseeländischen Ontago-Serie. Da handelt es sich um Grünschiefer, Feinbreccienphyllite, Schwarzphyllite und Kalkphyllite, die unseren Bündner Schiefern der Alpen analog sind und auch dieselbe Art der Lineation und tektonischen Stengelbildung parallel zur Faltenachse aufweisen.

Dank einer Empfehlung von Prof. A. DEFANT (Innsbruck) hielt ich mich eine Woche lang an Scripps Ozeanographischem Institut in La Jolla bei San Diego auf. Das von der Familie Scripps gegründete Institut ist heute in die Universität von Kalifornien eingegliedert, und es wird dort in sämtlichen Sparten der Ozeanographie an der Erforschung des Pazifischen Ozeans gearbeitet.

Ich lernte bei Prof. F. P. SHEPARD, der durch sein Buch „Submarine Geology“ (New York, 1948) bekannt ist, die Ergebnisse der submarinen geologischen Kartierung kennen. Es handelt sich um genaue Probeentnahme-Arbeiten von Schiff aus, und zwar in der der südkalifornischen Küste vorgelagerten kontinentalen Plattform zwischen Point Conception (Ausstreichen der Transversalkette, WNW Los Angeles) und den oben erwähnten Inseln San Benito und Cedros Island (westlich der Halbinsel Kalifornien). Die submarinen geologischen Karten (vier Blätter) sind in der Monographie von F. P. SHEPARD und K. O. EMERY (1941) sowie als Übersichtskärtchen in der kurzen Zusammenfassung von K. O. EMERY (1954) enthalten. Die kontinentale Plattform (Schelfgebiet im weitesten Sinne des Wortes) ist unter dem Meer in NW-streichende Rücken und Becken gegliedert. Die Höhenunterschiede zwischen diesen submarinen Rücken und Becken betragen bis zu 2700 m. Hangneigungen messen 5–10°, manchmal sogar 40°. Erdbeben-Epizentren sind häufig. Auf den submarinen Ketten findet sich vielfach anstehender Fels, vom Grundgebirge bis zum Miozän. Die Becken erweisen sich mit jungen bis rezenten klastischen Sedimenten erfüllt. Im Prinzip dürften sich hier in der Gegenwart ähnliche submarine Gleitungen abspielen wie sie in den marinen tertiären bis pleistozänen Profilen des Los Angeles-Beckens von den Geologen und Sedimentpetrographen (J. C. CROWELL, 1957; E. L. WINTERER) studiert werden.

Die letzte und westlichste Kette, welche zugleich die äußerste Zone der Kontinental-Plattform darstellt, wurde schon oben genannt. Es ist die Franciscan-Serie auf San Benito und Cedros Island mit den von D. B. MCINTYRE und O. VAN WEST studierten Glaukophanschiefern. Von hier ist der Abfall zum Tiefseeboden des Pazifik steil und unmittelbar.

Prof. M. N. BRAMLETTE, bekannt durch seine Arbeiten über stratigraphische Auswertung der Coccolithen, der erst vor kurzem Herrn Dr. E. KAMPTNER am Naturhistorischen Museum in Wien besucht hatte, ließ mir von Herrn Dr. W. R. RIEDEL das Verfahren der Probe-Entnahme und die verschiedenen Typen der Tiefseesedimente zeigen, wozu man bekanntlich als Binnengeologe des vom Meer abgeschlossenen Rest-Osterreichs sonst wenig Gelegenheit hat. Mit heiliger Scheu betrachtete und betastete ich die dem Kühlschrank entnommenen, 2 m langen, mit dem sogenannten Phleger-Verfahren gewonnenen (PBS = Phleger Bottom Samples) Bohrkern von Kalkschlamm, Radiolarienschlick und rotem Tiefseeton.

Zwei Forschungsschiffe — jedes mit 8 Wissenschaftlern und 16 Personen Hilfspersonal und Mannschaft an Bord — waren zur Zeit (Winter 1957/58) im Südpazifik unterwegs. Die Hauptaufgabe dieser Schiffsexpedition der Scripps Institution of Oceanography bestand in der Erforschung der Tiefsee-Strömungen. Auch geologisch kommt den Tiefsee-Strömungen große Bedeutung zu, da sie für die Sedimentation eine wichtige Rolle spielen. Zum Beispiel bearbeitete Prof. M. N. BRAMLETTE Bohrkerne aus der Tiefsee des NE-Pazifik, 10° nördlicher Breite. Hier liegt einige Zentimeter mächtiges Pleistozän (Kalkschlamm) unmittelbar auf Oligozän (Radiolarienschlick und darunter Kalkschlamm). Miozäne und pliozäne Sedimente fehlen stellenweise in diesem Gebiet des Ozeans. Sie wurden entweder gar nicht sedimentiert oder sekundär erodiert. Für beide Möglichkeiten werden Tiefseeströmungen verantwortlich gemacht. Die erwähnten Schichten brauchen gar nicht geschlämmt zu werden. Sie bestehen zu 60—70% aus Coccolithen und den kleinen problematischen sternförmigen Gebilden und nur zu 30—40% aus Foraminiferen. Mit den Tiefseeströmungen werden auch die Mangan-Eisenkrusten der Tiefsee in Zusammenhang gebracht, von denen man mir viele Proben zeigte. Sie scheinen sich gerade dort abzusetzen, wo sonst infolge von Tiefseeströmungen keine Sedimentation stattfindet. Die Herkunft des Mangans und Eisens ist problematisch. Man denkt an vulkanischen Ursprung. Die Krusten sitzen auf Kalk, Basalt, vulkanischem Glas, Bimsstein, Haifiszähnen und Gehörknöchelchen von Walen.

Dr. H. W. MENARD zeigte mir die neuen bathymetrischen Karten des Pazifik. Es wird versucht, aus der Verteilung vulkanischer Inseln, Guyots (= versunkener vulkanischer Inseln) und Seeberge (submarine Vulkane) tektonische Leitlinien und eine ganze Geschichte der Auf- und Abbewegungen im Pazifik und einer dabei obwaltenden gewissen Regelmäßigkeit zu konstruieren, wobei ich aber den Eindruck hatte, daß die Folgerungen bezüglich der Regelmäßigkeiten oder sogar Gesetzmäßigkeiten noch ziemlich hypothetisch sind. Interessant ist die Meinung (? Nachweis), daß sich Strukturen des Kontinents in die Tiefsee hinaus fortsetzen. Das wird für die San Andreas-Störung angenommen (siehe Seite 24) und für die in den vergangenen Jahren gefundenen, sogenannten „escarpments“ behauptet. Die zuletzt genannten sind E—W-streichende Steilstufen des Tiefseebodens, die allerdings so sehr überhöht gezeichnet werden (H. W. MENARD, 1955), daß man sich leicht ein etwas zu schroffes Bild von ihnen machen könnte. Es sind Stufen, die bis 2000 m relative Höhe besitzen und eine E—W-Erstreckung von 5000 km erreichen. Das Murray escarpment in der Tiefsee liegt z. B. in der streichenden Fortsetzung jener auffallenden Transversalkette am Kontinent nördlich Los Angeles (San Gabriel Mts., Santa Ynez Mts.). H. W. MENARD meint auch, erkennen zu können, daß die escarpments teils durch vertikale Störungen, teils durch Blattverschiebungen verursacht seien, wobei behauptet wird, daß in der Tiefsee im Prinzip ähnliche Baupläne herrschen wie im störungsreichen Kalifornien. Es wurde mir eine Karte geomagnetischer Strukturlinien aus der Tiefsee vorgelegt, welche beiderseits eines escarpments seitenverschoben sind.

In San Diego zeigte mir Dr. E. L. HAMILTON Gesteinsproben von der submarinen Gipffläche der Guyots, südwestlich der Hawaii-Inseln, die er während der Expedition im Jahre 1950 geträcht hatte. Es sind kretazische Rudistenkalke mit Rifffkorallen und Gastropoden (Apt bis Cenoman), aufsitzend auf Olivinbasalt, umkrustet von Manganknollen. Das die kretazischen Seichtwasserkalke tragende Plateau befindet sich heute 1500—2000 m unter dem Meeresspiegel. Der allmähliche Senkungsvorgang seit der Kreideformation hat sich auch noch

in der Sedimentation oberkretazischer, paleozäner und eozäner Foraminiferen im Gebiete der Guyots kundgetan (E. L. HAMILTON, 1956 und 1957 b). Die durch das Gewicht der ehemaligen Vulkanriesen verursachte ringförmige Depression des Tiefseebodens rund um die Guyots, die immerhin auch heute noch 4000 m über den Tiefseeboden, der 6000 m unter dem Meeresspiegel liegt, aufragen, wurden näher untersucht und entsprechen ähnlichen Strukturen rund um die Hawai-Vulkane (E. L. HAMILTON, 1957 a).

Im Institut von E. L. HAMILTON sah ich die Photoausrüstung für Tiefsee-Aufnahmen. Sein Mitarbeiter D. G. Moore führte mir die mit dem neuen Gerät „Sonoprobe“ gewonnenen submarinen geologischen Profile vor. Dabei wird das Prinzip der Echolotung für das Messen von Winkeln angewandt. In unverfestigten Sedimenten mit hohem Poren-Wassergehalt können bis 60 m unter dem Grunde des Meeres Schichtneigungen, Diskordanzen und Schichtmächtigkeiten ermittelt werden. Das Instrument zeichnet die Schichtlagerung unmittelbar auf das Papier in Form eines geologischen Profils. Das Gerät „Sonoprobe“ wurde bei der Magnolia Petroleum Company von Wm. B. HUCKABAY entwickelt (Ankündigung in der Zeitschrift: Geotimes, Vol. 1, Nr. 8, Februar 1957; eine ausführliche Beschreibung des Gerätes soll in der Zeitschrift Geophysics 1958 erscheinen). Ein anderer Mitarbeiter dieser Arbeitsgruppe in San Diego, ROBERT F. DILL ist Spezialist für geologische Kartierung beim Tauchen mit einfachem Sauerstoffgerät und Schwimmflossen. Er arbeitet auch mit Prof. COUSTEAU in den französischen Küstengewässern zusammen. Es wurden für den tauchenden Geologen ein aus Plastik gefertigter Kompaß und dazugehörige Schreibvorrichtung für Notizen unter Wasser konstruiert. Einige praktisch wichtige geologische Detailfragen konnten auf diese Art in den südkalifornischen Gewässern bis zu 50 m Tiefe gelöst werden (H. W. MENARD, R. F. DILL, E. L. HAMILTON, D. G. MOORE u. a., 1954).

Prof. BRAMLETTE und Dr. RIEDEL führten mich auf den Mt. Solidade bei La Jolla. Hier sieht man eine Verwerfung zwischen Eozän und Kreide. Diese Störung streicht in den submarinen Canyon (sogenannter Scripps Canyon) gleich nördlich des ozeanographischen Instituts weiter.

An der südkalifornischen Küste zwischen Monterey und San Diego gibt es mehrere submarine Canyons. Sie reichen von der Küste ozeanwärts bis in Tiefen von 3000 m. So viel man heute weiß, dürften sie hauptsächlich Bildungen submariner Erosion sein (Hanggleitungen mit Sedimentfließen und Trübungsströmungen). Ähnlich wie bei Fjorden (A. KIESLINGER) nimmt man auch hier an, daß tektonische Störungen ihre Ausbildung begünstigen. An der kalifornischen Küste scheinen Lokalitäten mit steilem submarinem Hang und mit reichlicher Sedimentzufuhr durch küstenparallele Strömungen, deren horizontale Transportkraft unvermittelt aus diversen Gründen der Küstenfiguration gehemmt wird, besonders prädestiniert zu sein zum Ansatz und zur Ausgestaltung submariner Canyons (J. C. CROWELL, 1952 b).

Los Angeles-Becken, Kalifornisches Längstal, jungtertiäre, pleistozäne bis rezente Orogenese

Wie das ja allgemein bekannt ist, bildet die Gegend von Los Angeles ein Musterbeispiel junger, hauptsächlich mittelpleistozäner Tektonik (pasadenische Phase nach H. STILLE). Der Eindruck in der Natur ist allerdings weitaus großartiger, als man das irgendwie in Worten schildern kann.

Weithin sieht man die steil bis saiger aufgerichteten obermiozänen, pliozänen bis pleistozänen Konglomerate und Sandsteine, welche die Hügel im Stadtbild von Los Angeles, Pasadena, Glendale, Brea und anderer Vororte zusammensetzen. Verblüffend sind die Liegendfalten in obermiozänen Schiefertönen, z. B. an den frischen Einschnitten der freeway 99 in den Jose Hills, westlich Pomona. Staunend steht man vor wenig verfestigten Tiefseesedimenten (obermiozäne Foraminiferensilts), die erst in geologisch junger Zeit emporgehoben wurden; aufgeschlossen z. B. an der Upper Newport Bay, bei der Salzgewinnungsanlage. Die fossilreichen, die moderne pazifische Konchylienfauna führenden altpleistozänen Marinsande sah ich im Erdölfeld der Coyote Hills. Sie sind mit dem unterlagernden Pliozän zusammen antiklinal aufgewölbt mit Schichtneigung bis 75°. Darüber transgrediert kontinentales Jungpleistozän.

Aber in Küstennähe ist auch noch das Jungpleistozän marin entwickelt und tektonisch schwach verbogen, und zwar auf der marinen Strandterrasse von Pacific Palisades, beim Wohnhaus des Geologen Dr. JOHN C. CROWELL. Wegen der dort häufigen Bergstürze und Rutschungen von der etwa 50 m hohen, jungpleistozänen Terrasse zum Strand und in die Canyons der mündenden, nur periodisch fließenden Wildbäche wurden für bautechnische Zwecke die auf der Terrasse lagernden marinen jungpleistozänen Sande und ihre Basisfläche auf genaueste in Zusammenarbeit von Geologen und Geodäten der University of California in Los Angeles vermessen. Es ergab sich daraus der Nachweis einer rezenten tektonischen Wölbung dieser Terrasse, was auch mit freiem Auge gesehen werden kann.

Alle die genannten Lokalitäten liegen im Becken von Los Angeles. Dieses hat flächenmäßig etwa die Ausdehnung des Inneralpinen Wiener Beckens. Die Stadt im weiteren Sinne samt den Vororten (4 Millionen Einwohner) füllt beinahe den gesamten Raum des geologischen Beckens aus. Die Stadt besteht hauptsächlich aus ebenerdigem Einfamilienhäusern, umgeben von Rasenflächen und kleinen Gärten in einem unübersehbar weiten Netz rechtwinkliger Straßenzüge. Diese Bauweise entspricht den häufigen Erdbeben und der Motorisierung der Einwohner.

Die Schichtfolge der Beckenfüllung reicht von der Oberkreide bis zum Holozän und wird mit 13 km Mächtigkeit angegeben. Der innere Teil des Beckens besteht aus einer marinen, tonig bis feinsandigen Serie, in der die tiefste Bohrung mit 4700 m Tiefe noch im Obermiozän verblieb.

Ähnlich wie das Inneralpine Wiener Becken ist auch das Becken von Los Angeles in den Gebirgskörper quer eingebrochen. Die Franciscan-Serie der Küstenkette wurde durch Bohrungen im ganzen westlichen Teil des Beckenuntergrundes nachgewiesen. Obertags tritt sie heute nur noch in den felsigen Inseln (z. B. Santa Catalina Island) und in den weithin sichtbaren Palos Verdes Hills in Erscheinung. Im mittleren Miozän lieferte die damalige Küstenkette jedoch kolossale Schuttmassen prächtiger, 3 m großer Glaukophanschieferblöcke, Serpentin-, Hornstein-, Eklogitblöcke usw. ins Becken (mittelmiozäne San Onofre-Breccie, aufgeschlossen z. B. in den Steilflanken der Küste bei Dana Point und Laguna Beach).

Im Osten (Umgebung von Pomona-College, Santa Anna Mts. usw.) liegt die Beckenfüllung auf der südlichen Fortsetzung der Sierra Nevada-Einheit, und zwar transgrediert Oberkreide über dem Granit- bis Granodioritbatholith sowie über Präkambrium, metamorphem Paläozoikum, metamorpher fossilführender Trias und über jurassischen Vulkaniten (siehe Seite 30). Über dem Oberkreide

konglomerat findet sich die randliche Beckenserie in der Berg- und Hügellandschaft südlich Pomona-College aufgeschlossen. Die Einzelheiten der Schichtfolge und Tektonik sind durch die am geologischen Institut des Pomona-College arbeitende Außenstelle des US Geological Survey in großmaßstäblichen geologischen Karten und Erläuterungen (J. E. SCHOELLHAMER, R. F. YERKES u. a., 1954 und 1957) sowie vom emeritierten Vorstand des Instituts in Zusammenarbeit mit den genannten Herren in einer Übersichtsarbeit über die geologische Gesamtentwicklung des Los Angeles-Beckens mit geologischer Übersichtskarte dargestellt (A. O. WOODFORD, J. E. SCHOELLHAMER, J. G. VEDDER und R. F. YERKES, 1954).

JACK E. SCHOELLHAMER nahm mich auf Exkursion mit und ich konnte einige Details der Entwicklung des Los Angeles-Beckens kennenlernen. Im Gegensatz zur ruhigen Sedimentation im Beckeninneren herrschen am Rande sehr mächtige Blockschichten und Sandsteine. Schichtlücken mit Winkeldiskordanzen und Transgressionskonglomeraten sind am Rande des Beckens häufig. Oberkreide, Paleozän und Eozän bilden jedes für sich einen Transgressionszyklus, beginnend mit Konglomeraten und darüber folgenden marinen Schiefertönen, Sandsteinen und Kalksandsteinen. Vom Oligozän bis Untermiozän findet sich eine Faziesaufspaltung in kontinentale Redbeds (Sespe Formation) und marine Sande mit großen Turritellen (Vaqueros Formation). Die mittelmiozäne Gebirgsbildung war nicht besonders intensiv. Sie drückt sich am Rande des Beckens in Winkeldiskordanzen aus. Sie war von Vulkanismus begleitet: Basalt, Andesit, Laven, Breccien, Tuffe. Die zugehörigen Diabasgänge sind besonders hübsch an der Steilküste bei Laguna Beach aufgeschlossen. Über dem Untermiozän transgrediert im W die oben schon genannte San Onofre-Breccie. Es folgt nun Tiefseesedimentation im inneren Becken: Absatz der mittel- bis obermiozänen, rhythmisch geschichteten Diatomite und Foraminiferensilts der sogenannten Monterey Formation. Gleichzeitig wurden am N- und W-Rande des Beckens 4000 m mächtige Konglomerate und Sandsteine (Puente Formation) abgelagert. Im Pliozän (Repetto Formation) ging diese Entwicklung weiter: Ablagerung mit Tiefseeforaminiferen im Inneren des Beckens; sehr mächtige Seichtwasserablagerungen mit Konglomeraten am Außenrand. Das Unterpleistozän ist zumeist noch marin entwickelt. Dann folgt die größte Orogenese, welche die Beckenfüllung erfaßt hat. Das ist die mittelpleistozäne (H. S. GALE, 1932) oder pasadenische Orogenese (H. STILLE, 1936, 1940). In den randlichen Teilen des Beckens wurden die Tone und feinsandigen Schichten in Falten gelegt und die groben Schotterkörper steil aufgerichtet. Im Beckeninnern ist das marine Pleistozän 1000 m mächtig und bedeutend weniger gestört. Im Oberpleistozän sind die Randgebiete des Beckens bereits Festland. Hier befand sich mitten im heutigen City-Gebiet ein Asphaltteich zur Oberpleistozänzeit, in dem sich die Landwirbeltiere und Vögel fingen; heute ein paläontologisches Eldorado (Asphaltteich La Brea in Los Angeles).

Die Morphologie im Randgebiet des Beckens bringt viel intensiver die Wirkung der endogenen Kräfte zum Ausdruck als wir dies im allgemeinen in Mitteleuropa gewöhnt sind. Die Antiklinalen der mittelpleistozänen Faltung sind modellförmig als langgestreckte Hügelzüge entwickelt. San Jose Creek und Santa Anna Canyon (beide halbwegs zwischen Pomona und Los Angeles City) stellen epigenetische Durchbruchstäler durch Antiklinalen dar, in denen auch noch oberpleistozäne Redbeds antiklinal steil aufgerichtet sind. Der Berg ist jünger als der Fluß. Und die Faltung, welche den Berg erzeugt, ist jünger als der Fluß.

Das dem Los Angeles-Becken nördlich benachbarte Ventura Becken soll eine Beckenfüllung (Oberkreide bis Pleistozän) von 20 km Mächtigkeit besitzen,

wobei allein die Mächtigkeit des Plio- bis Pleistozän 6 km mißt (J. S. SHELTON, 1958).

Das NW-streichende, 650 km lange und im Mittel 80 km breite kalifornische Längstal (Great Valley, bestehend aus San Joaquin Valley und Sacramento Valley) zwischen Sierra Nevada und Küstenkette stellt geologisch ebenfalls ein von mächtigen oberkretazischen, tertiären bis pleistozänen Sedimenten erfülltes Becken dar. Die Profile zeigen einen tiefen asymmetrischen Trog, den man als eine noch nicht ausgefaltete Geosynklinale ansprechen kann. Die Randstörungen dieses Beckens sind in der Gegenwart sehr aktiv.

Wir besichtigten die westliche Randstörung des kalifornischen Längsbeckens bei Taft, SW Bakersfield. Es spalten sich dort von der San Andreas-Störung mehrere Antiklinalen ab, die fiederförmig vom Rande des kalifornischen Längsbeckens in SE-Richtung ins Becken hineinragen. Diese Antiklinalen bildeten sich erst während der mittelpleistozänen Orogenese. Kontinentales Unterpleistozän ist in die Antiklinalstrukturen einbezogen. Die Antiklinalen stellen morphologisch sehr markante Hügelzüge dar, auf denen die Erdölbohrtürme stehen. Aus langjährigen Beobachtungen in den Erdölfeldern ergibt sich eindeutig, daß tektonische Bewegungen hier in der Gegenwart andauern.

JOHN S. SHELTON führte mich an die Buena Vista-Störung bei Taft. Wir sahen auf einem Antiklinalhügel im dortigen Erdölgebiet den Ausbiß dieser Störung als eine mehrere Zentimeter bis 2 m hohe Geländestufe (fault scarp). Es handelt sich um eine steile Überschiebung, an welcher Pliozän auf Pleistozän aufgeschoben ist. Das Ölfeld ist seit dem ersten Weltkrieg produktiv. Man hat immer wieder feststellen müssen, daß die Rohre in den Bohrlöchern an der Buena Vista-Störung brachen. Und man konnte beobachten, daß eine oberflächlich verlegte Rohrleitung, welche die morphologische Steilkante (fault scarp) der Buena Vista-Störung quert, allmählich geknickt wurde. Sie mußte alle paar Jahre repariert werden. Ich konnte die Lötstellen dieser Reparaturen an der betreffenden Rohrleitung besichtigen. Der Vorgang wird natürlich von den Geologen dauernd verfolgt. Es werden jedes Jahr genaue Messungen vorgenommen und Photos des Deformationsverlaufes hergestellt. Vom Jahre 1918 bis zum Jahre 1933 war hier der relative vertikale Verschiebungsbetrag 2,5 cm pro Jahr (T. W. KOCH, 1933). Für die Zeit von 1933 bis heute beträgt der betreffende Wert 2,0 cm pro Jahr (nach freundlicher mündlicher Auskunft von J. S. SHELTON).

Ein anderes Mal konnte ich unter Führung von D. B. MCINTYRE die Störung am E-Rande des kalifornischen Längsbeckens, ESE Bakersfield, besichtigen. Es handelt sich um die White Wolf-Störung, eine NE-streichende Kombination von Überschiebung und Blattverschiebung (Linksseitenverschiebung), an der der kristalline Gebirgskörper der südlichen Sierra Nevada (Bears Mts.) schroff auf das kalifornische Längsbecken randlich aufgeschoben ist. In diesem Gebiet war das große kalifornische Erdbeben vom 21. Juli 1952 sehr wirksam, dessen Epizentrum sich südlich Bakersfield befand. Nicht weit davon liegen die reichen Erdölfelder von Bakersfield. Außerdem wird das breite Talbecken von einer intensiven, durchwegs auf künstlicher Bewässerung beruhenden Farmwirtschaft genützt. So war neben Verlusten an Menschenleben besonders auch der wirtschaftliche Schaden groß. Ferner war zu dieser Zeit bereits das dichte seismographische Stationssystem in Kalifornien unter Leitung von B. GUTENBERG ausgebaut. So ist es verständlich, daß bezüglich der geologisch-tektonischen, seismischen und praktischen Auswirkungen des Erdbebens Informationen in großer Vollständigkeit gesammelt wurden. Unter Mitarbeit vieler Autoren der ge-

nannten Fachrichtungen kam eine sehr lesenswerte und reich bebilderte Monographie dieses Erdbebens zustande (O. P. JENKINS, 1955).

D. B. MCINTYRE war im Sommer 1952 an den Forschungen an Ort und Stelle knapp nach dem Hauptbeben und noch während der Nachbeben mitbeteiligt. Er zeigte mir auf Exkursionen die damaligen Wirkungen, soweit sie noch heute erkennbar sind und führte mir dann auch die Erscheinungen an Hand seiner Lichtbilder vor. Besonders interessant ist die disharmonische Beben tektonik.

An der eigentlichen Randstörung des kalifornischen Längsbeckens vollzog sich an der White Wolf-Linie eine Aufwärts- und Linksseitenverschiebung. An der Stelle, wo die Störung den Tunnel der Eisenbahnlinie Bakersfield—Mojave quert, wurde die Tunnelröhre wie mit dem Messer durchgeschnitten und versetzt. Die Relativverschiebung betrug 1 m nach links oben. Der Tunnel mußte nachher ganz abgetragen werden und die Strecke verläuft jetzt dort obertags.

Im lockeren Terrain der Bodenkrume des Beckens bei Arvin, unweit Bakersfield, sahen wir noch die versetzten Feldwege, geflickten Zäune, die Störungsböschungen und Erdspalten. Ausmaß und Richtungen der Bodendeformationen im Lockerbereich variierten während des Erdbebens stark. Aus den Beschreibungen geht hervor, daß befeuchtetes Ackerland auf die Erschütterungen mit Spaltenbildung reagierte, während benachbarter trockener Wüstenboden überhaupt keine Spalten zeigte. Die ursprünglich streng rechteckig angelegten Pflanzenreihen der Plantagen erlitten weithin eine grotesk ziehharmonikaförmige Deformation. Betonstraßen wurden als Ganzes gewölbt und zeigten Reißklüfte senkrecht zur Längserstreckung der Straße. In dreidimensionalen Anschnitten (Wassergräben) war zu sehen, daß viele Spalten im Ackerland bloß einige Zentimeter tief waren und daß sich an ihnen hauptsächlich Blattverschiebungen ereigneten, wie wenn man Papier in viele parallele Streifen schneidet und diese über der Tischunterlage gegeneinander verschiebt.

Zum Schluß sei darauf verwiesen, daß die sonderbaren Querstrukturen nördlich Los Angeles (ESE-streichende Santa Ynez-, San Gabriel- und San Bernardino Mts.) ebenfalls sehr jung emporgehobene Horste darstellen, die mit abnormal steilen Hängen aus der Ebene auftauchen und deren junge Randschotter gegen die Mojave-Wüste sekundär tektonisch steil aufgebogen sind. Beim Pomona-College überschiebt das Kristallin der San Gabriel Mts. steil nördlich einfallendes Jungtertiär. Diese ESE-streichenden, sogenannten Transversalketten besitzen noch eine interessante Eigentümlichkeit. Die San Andreas-Störung ist im Abschnitt der Transversalketten verbogen. M. L. HILL und T. W. DIBBLEE (1953) zeigten den wahrscheinlichen Mechanismus dieser Verbiegung auf. Die San Andreas-Störung wird von zwei schwächeren Linksseitenverschiebungen (Garlock- und Big Pine-Störung) diagonal geschnitten. Es kommt im Gebiete des Tejon-Passes zu einer regelrechten Kreuzung von Störungslinien, die vom Flugzeug besonders eindrucksvoll zu betrachten ist und auch auf jeder Landkarte ihren Ausdruck findet im auffallend spitzen W-Eck der Niederung der Mojave-Wüste. Unwillkürlich denkt man dabei an einen Ausspruch von E. WEGMANN (1952). Er meinte, daß eine zukünftige Faltung im Wiener Becken sonderbare Querstrukturen zur alpinen Hauptstreichrichtung erzeugen würde. Das Los Angeles-Becken befindet sich offensichtlich bereits in einem solchen Zustand.

Es ist mir eine innere Verpflichtung, dem Direktor der Geologischen Bundesanstalt, Prof. Dr. H. KÜPPER, sowie den Behörden und den Kollegen diesseits und jenseits des Atlantik für hilfreiche Mitwirkung bei der Vorbereitung und Ausführung meiner Studienreise ergebenen Dank zu sagen.

Literatur

- BAKER, A. A.: Geology of Monument Valley. Navajo Mountain Region, San Juan County, Utah. U. S. Geol. Survey Bull. 865, 1936.
- BLACKWELDER, E.: Pleistocene Lakes and Drainage in the Mojave Region, Southern California. Calif. Div. of Mines Bull. 170, V, 1954 a.
- BLACKWELDER, E.: Geomorphic Processes in the Desert. Calif. Div. of Mines Bull. 170, V, 1954 b.
- BROTHERS, R. N.: Glaucofane Schists from the North Berkeley Hills, California. Americ. Journal of Science 252, 1954.
- CLOOS, E.: Der Sierra Nevada Pluton in Californien. Neues Jahrb. Min. Abt. B, Beilage B. 76, 1936.
- CLOOS, H.: Bau und Bewegung der Gebirge in Nordamerika, Skandinavien und Mitteleuropa. Fortschr. Geol. u. Pal. VII, 21, 1928.
- CROWELL, J. C.: Probable Large Lateral Displacement on San Gabriel Fault, Southern California. Americ. Assoc. of Petrol. Geol. 36, 1952 a.
- CROWELL, J. C.: Submarine Canyons bordering Central and Southern California. The Journal of Geology 60, 1952 b.
- CROWELL, J. C.: Origin of Pebbly Mudstones. Geol. Soc. America Bull. 68, 1957.
- CROWELL, J. C.: Structure of Orocopia Mountains, Southern California (Abstract). Geol. Soc. America Bull. 68, 1958 a.
- CROWELL, J. C.: The San Andreas Fault in Southern California. Americ. Assoc. of Petrol. Geol., Guidebook Los Angeles 1958 b.
- DUNBAR, C. O.: Historical Geology. 7. Auflage. New York und London 1957.
- EARDLEY, A. J.: Structural Geology of North America. New York 1951.
- EMERY, K. O.: General Geology of the Offshore Area, Southern California. Calif. Div. of Mines Bull. 170, II, 1954.
- FISCHER, R. P.: Uranium — bearing Sandstone Deposits of the Colorado Plateau. Economic Geology 45, 1950.
- GALE, H. S.: Geology of Southern California. XVI. Intern. Geol. Congr., Guidebook 15, Washington 1932.
- Geologic Guidebook along Highway 49. The Mother Lode Country. Calif. Div. of Mines Bull. 141, 1948.
- GILBERT, C. M.: Welded Tuff in Eastern California. Geol. Soc. America Bull. 49, 1938.
- GILBERT, G. K.: Geology of the Henry Mountains. U. S. Geog. and Geol. Survey of the Rocky Mountain Region 1877.
- GREGORY, H. E.: Colorado Plateau Region. XVI. Intern. Geol. Congr., Guidebook, Washington 1932.
- GUTENBERG, B.: Verschiebung der Kontinente. Eine kritische Betrachtung. Stille Festschrift, Stuttgart 1956.
- GUTENBERG, B.: Zur Frage der Gebirgswurzeln. Geol. Rundschau 46, 1957.
- HAMILTON, E. L.: Sunken Islands of the Mid-Pacific Mountains. Geol. Soc. America Memoir 64, 1956.
- HAMILTON, E. L.: Marine Geology of the Southern Hawaiian Ridge. Geol. Soc. America Bull. 68, 1957 a.
- HAMILTON, E. L.: The last Geographic Frontier: The Sea Floor. The Scientific Monthly 85, 1957 b.
- HEWETT, D. F.: Geology and Ore Deposits of the Goodsprings Quadrangle, Nevada. U. S. Geol. Survey Prof. Paper 162, 1931.
- HILL, M. L.: Classification of Faults. Americ. Assoc. of Petrol. Geol. Bull. 31, 1947.
- HILL, M. L. und DIBBLEE, T. W.: San Andreas, Garlock and Big Pine Faults, Calif. Geol. Soc. America Bull. 64, 1953.
- HUNT, C. B.: Geology and Geography of the Henry Mountains Region, Utah. U. S. Geol. Survey Prof. Paper 228, 1953.
- HUNT, C. B.: Cenozoic Geology of the Colorado Plateau. U. S. Geol. Survey Prof. Paper 279, 1956.
- JAHNS, R. H.: Geology of Southern California. Calif. Div. of Mines Bull. 170, 1954.
- JAHNS, R. H.: The Geologic Framework of Southern California. Amer. Assoc. of Petrol. Geol., Guidebook Los Angeles 1958.

- JENKINS, O. P.: Earthquakes in Kern County, California, during 1952. A Symposium on the Stratigraphy, Structural Geology and Origine of the Earthquakes; their Geologic Effects; Seismologic Measurements; Application of Seismology to Petroleum Exploration; Structural Damage and Design of Earthquake-Resistant Structures. Calif. Div. of Mines Bull. 171, 1955.
- KELLEY, V. C.: Regional Tectonics of the Colorado Plateau and Relationship to the Origin and Distribution of Uranium. University of New Mexico Publications in Geology 5, Albuquerque 1955.
- KING, PH. B.: An Outline of the Structural Geology of the United States. XVI. Intern. Geol. Congr., Guidebook 28, Washington 1932.
- KNOPF, A.: The Mother Lode System. XVI. Intern. Geol. Congr., Guidebook 16, Washington 1933.
- KNOPF, E. B. und INGERSON, E.: Structural Petrology. Geol. Soc. America Memoir 6, 1938.
- KOBER, L.: Bau der Erde. 2. Auflage. Berlin 1928.
- KOCH, T. W.: Analysis and Effects of Current Movement on an Active Fault in Buena Vista Hills Oil Field, Kern County, Calif. Americ. Assoc. of Petrol. Geol. Bull. 17, 1933.
- LARSEN, E. S.: Batholith and Associated Rocks of Corona, Elsinore and San Luis Rey Quadrangles Southern California. Geol. Soc. America Memoir 29, 1948.
- LONGWELL, C. R.: Structure of the Northern Muddy Mountain Area, Nevada. Geol. Soc. America Bull. 60, 1949.
- LONGWELL, C. R.: History of the Lower Colorado River and the Imperial Depression. Calif. Div. of Mines Bull. 170, V, 1954.
- MATTHES, F. E.: Geologic History of the Yosemite Valley, U. S. Geol. Survey Prof. Paper 160, 1930.
- MAXSON, J. H.: Lava Flows in the Grand Canyon of the Colorado River, Arizona. Geol. Soc. America Bull. 61, 1949.
- MCINTYRE, D. B. und CHRISTIE, J. M.: Nature of the Faulting in Large Earthquakes. Geol. Soc. America Bull. 68, 1957.
- MENARD, H. W., DILL, R. F., HAMILTON, E. L., MOORE, D. G. u. a.: Underwater Mapping by Diving Geologists. Americ. Assoc. of Petrol. Geol. Bull. 38, 1954.
- MENARD, H. W.: Deformation of the Northeastern Pacific Basin and the West Coast of North America. Geol. Soc. America Bull. 66, 1955.
- MISCH, P.: Geology of the Northern Cascades of Washington. The Mountaineer 45, Seattle 1952.
- NOBLE, L. F.: The San Andreas Fault Zone from Soledad Pass to Cajon Pass, California. Calif. Div. of Mines Bull. 170, IV, 1954.
- NOBLE, L. F. und WRIGHT, L. A.: Geology of the Central and Southern Death Valley Region, California. Calif. Div. of Mines Bull. 170, 1954.
- Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy 6, Geology of Uranium and Thorium. United Nations, New York 1956.
- SCHOELLHAMER, J. E., KINNEY, D. M., YERKES, R. F. und VEDDER, J. G.: Geologic Map of the Northern Santa Anna Mountains, Orange and Riverside Counties, California. Scale 1 : 24.000. U. S. Geol. Survey, Washington 1954.
- SCHOELLHAMER, J. E., VEDDER, J. G. und YERKES, R. F.: Geologic Map of the San Joaquin Hills — San Juan Capistrano Area, Orange County, California. Scale 1 : 24.000. U. S. Geol. Survey, Washington 1957.
- SHARP, R. P.: Ep-Archean and Ep-Algonkian Erosion Surfaces, Grand Canyon, Arizona. Geol. Soc. Americ. Bull. 51, 1940.
- SHELTON, J. S.: Air Tour of Southern California Geology. Americ. Assoc. of Petrol. Geol., Guidebook Los Angeles, 1958.
- SHEPARD, F. P. und EMERY, K. O.: Submarine Topography of the California Coast: Canyons and Tectonic Interpretations. Geol. Soc. America Special Paper 31, 1941.
- STILLE, H.: Grundfragen der vergleichenden Tektonik. Berlin 1924.
- STILLE, H.: Einführung in den Bau Amerikas. Berlin 1940.
- STILLE, H.: Recent Deformations of the Earth's Crust in the Light of Those of Earlier Epochs. Geol. Soc. America, Special Paper 62, 1955.
- TERMIER, P.: Une visite au Grand Cañon du Colorado (erstmalig publiziert in: „Revue Universelle“ 1924). Wiederabgedruckt in TERMIERS Buch: „La Joi dé Connaitre“, 5. Auflage, Paris. Verlag: Desclée de Brouwer et Co.
- WEGMANN, E.: Entwicklung, von verschiedenen Standpunkten aus gesehen. Geol. Rundschau 24, 1952.

- WEST, O. VAN: Geology of the San Benito Islands and the SW-Part of Cedros Island, Baja California, Mexico. Unpublizierte thesis. Geologisches Institut, Pomona College. 1957.
- WHITTEN, C. A.: Measurements of Earth Movements in California. Calif. Div. of Mines Bull. 171, 1955.
- WHITTEN, C. A.: Crustal Movement in California and Nevada. Transact. Americ. Geophys. Union 37, 1956.
- WILLIAMS, H.: Pliocene Volcanoes of the Navajo — Hopi Country. Geol. Soc. America Bull. 47, 1936.
- WOODFORD, A. O., SCHOELLHAMER, J. E., VEDDER, J. G. und YERKES, R. F.: Geology of the Los Angeles Basin. Calif. Div. of Mines Bull. 170, II, 1954.
- WRIGHT, L. A. und TROXEL, B. W.: Geologic Guide for the Western Mojave Desert and Death Valley Region, Southern California. Calif. Div. of Mines Bull. 170, 1954.

Trias, Jura und tiefe Kreide bei Kaisers in den Lechtaler Alpen (Tirol)

VON REINHOLD HUCKRIEDE, Hannover

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung	44
II. Begrenzung des behandelten Gebietes	45
III. Die Schichtenfolge:	45
1. Skythische Rauhacken	45
2. Anisische Stufe	46
3. Ladinische Stufe	51
4. Karnische Stufe	53
5. Tuvalischer Kalk im Liegenden des Hauptdolomits	56
6. Hauptdolomit	56
7. Oberrnorische bis unterstrhätische Kalke und Dolomite	58
8. Kössener Schichten	60
9. Oberrhätalk; Oberrhätischer-tiefstliassischer Kalk	62
10. Liasbasiskalk	67
11. Allgäuschichten	67
12. Ältere Radiolarit-Serie	71
13. Aptychenkalke	73
14. Jüngere Radiolarit-Serie	75
15. Jura in Schwellenfazies	76
IV. Überblick über die Faziesverteilung in Obertrias und Jura	84
Zusammenfassung	86
Literaturverzeichnis	87

I. Einleitung

Da bei der Erforschung der Lechtaler Alpen seit einem halben Jahrhundert mehr tektonische als stratigraphische Gesichtspunkte im Vordergrund standen, ist über die Schichtenfolge dieses Gebirges viel weniger bekannt als über die vieler anderer alpiner Gebiete. Gerade dieser schlechte Stand der stratigraphischen Kenntnisse gab zu mancherlei unrichtigen tektonischen Deutungen Anlaß. Möge deshalb vorliegende Untersuchung zu einer besseren Kenntnis der Lechtaler Trias- und Jurabildungen und ihrer faziellen Gliederung beitragen.

Sie behandelt ein Gebiet, in dessen nördlichen und mittleren Teilen marine Schichten von einer Gesamtmächtigkeit von 2—2,5 km den Zeitabschnitt vom obersten Skyth bis zum Cenoman vertreten und dessen südlicher, in der Nachbar-