

Die Ostalpen-Geotraverse im DFG-Schwerpunktprogramm „Geodynamik des mediterranen Raumes“

Von H. G. WUNDERLICH *)

Schlüsselwörter

Ostalpen
Geodynamik
Geotraverse
Gefügekunde
Gravimetrie
Orogenese

Die Universität Innsbruck, in deren Mauern unser Kolloquium stattfindet, kann heuer auf eine Geschichte von 300 Jahren zurückblicken. Am Beginn dieses Zeitraumes steht einer der Großen der weltlichen Macht, Kaiser Leopold I., der Gründer der Universität. Ihm steht in der Gegenwart gegenüber ein großer Meister unserer Wissenschaft, dessen 86. Geburtstag in dieses Jubiläumsjahr fällt und der dem Namen dieser Universität unter den Geowissenschaftlern der ganzen Erde einen besonderen Klang zu geben vermochte. Jenem gilt mehr unser historisches Interesse, diesem hingegen unser aller Dank, unsere Verehrung und Anerkennung.

Als im Jahre 1665 mit Franz Siegmund die damals in Tirol regierende steirische Nebenlinie des Hauses Habsburg im Mannesstamm erlosch, fielen die tiroler Erblande durch seine zweite Gemahlin, Claudia Felizitas, an Leopold I. Dieser, im Grunde mehr den Sprachen und Wissenschaften zugetan und mehr gegen seinen Willen zeitlebens in Kriege und Unruhen verwickelt, fand gleichsam in einer kurzen Ruhepause zwischen den Kämpfen gegen die einbrechenden Türken (1662—64) und die aufständischen Ungarn (1671, 1682) Gelegenheit, den ihm zugefallenen Besitz durch Neugründung einer Hohen Schule zu zieren. Die geologische Wissenschaft lag damals noch in den Anfangsgründen, und so dürfte die eminent günstige geologische Position dieser jungen Universität kaum aufgefallen sein. Anders sicher die schon damals außerordentlich günstige Verkehrslage des Ortes, die bereits die Römer zur Gründung ihrer Hauptniederlassung für Rätien, Veldidena an der Stelle des heutigen Wilten, veranlaßte.

Bruno Sander hingegen, als Sohn dieser Stadt und begnadeter Wissenschaftler, hat deren einmalig günstige Lage am Eingangstor zu den Zentralalpen, wo sich die orogene Dynamik der alpidischen Gebirgsbildung zur Gefügeprägung bis in den Mineralkornbereich steigert, klar erkannt und zum Wohle unserer Wissenschaft zu nutzen verstanden. So hat sich von hier aus die Gefügekunde entwickelt, wurde Innsbruck zur Pilgerstätte der Geowissenschaftler aus aller Welt. Literaturhistoriker haben immer wieder versucht, den inneren Zusammenhang

*) Adresse des Autors: H. G. WUNDERLICH, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Stuttgart, D 7000 Stuttgart 1, Böblinger Straße 72.

des literarischen Schaffens der Dichter mit ihrer Umgebung darzulegen, etwa am Beispiel Franz Kafkas und seiner Geburtsstadt Prag, von James Joyce und seiner Jugend- und Studienzeit in Dublin während der national-revolutionären Bewegung des heutigen Freistaates Irland. Es wäre sicher eine nicht weniger reizvolle Aufgabe für die Forschungsgeschichte der Geologie, in ähnlichem Sinne dem „Dichter und seiner Stadt“ am Beispiel von Bruno Sander und seiner Vaterstadt Innsbruck den „Geowissenschaftler und seine Umgebung“ gegenüberzustellen; es ist sicher kein Zufall, daß die Gefügekunde ihren Anfang gerade von Innsbruck aus nahm. Auch für außergewöhnliche naturwissenschaftliche Leistungen bedarf es gleicherweise der persönlichen Ideen und Fähigkeiten wie des besonderen „genius loci“, wie ihn etwa Innsbruck zu bieten hat. Den Grundstein hiezu mag bereits Leopold I. vor 300 Jahren gelegt haben. Es bedurfte aber einer langen Zeit des Wachsens und der Reife, bis sich aus den bescheidenen Anfängen der Neugründung die fruchtbare wissenschaftliche Pflanzstätte entwickeln konnte. Dies gilt es wohl auch in einer Zeit der Gründung neuer Hochschulen wie heute zu bedenken.

Lassen Sie mich also als ersten der auswärtigen Redner die herzlichen Glückwünsche zum 300jährigen Jubiläum aussprechen. Den Dank an unseren verehrten Jubilar hingegen kann man wohl, und da glaube ich ganz in seinem Sinne zu sprechen, am besten zum Ausdruck bringen, indem man den wissenschaftlichen Weg weiterverfolgt, den er uns gewiesen und den er selbst durch ein erfülltes Leben hindurch so erfolgreich beschritten hat. Es soll Berufeneren als mir vorbehalten bleiben, das Werk BRUNO SANDERS in seiner ganzen Fülle zu würdigen. Aber ich kann, wie wohl so mancher von uns, beurteilen, wie sehr mir bei den Geländearbeiten von Göttingen und jetzt von Stuttgart aus die Gefügekunde in entscheidenden Situationen geholfen hat. Das begann vor 15 Jahren im Gotthardgebiet, gleichsam auf den Spuren von Herrn Kollegen KARL, mit der Feststellung, daß die dortigen Nord-Süd-Achsen vor dem Hindernis der Zentralmassive einen weitgespannten Fächer bilden und daß außerdem die Gefügeprägung den bereits fertigen Deckenbau betroffen hat, daß also auf ein Anfangsstadium der freien Deckenbewegung ein weiteres Stadium der intensiven Verformung beim Auftreffen auf ein vorgelagertes Hindernis folgt. In einer Gemeinschaftsarbeit zusammen mit W. PLESSMANN schloß sich die Aufnahme der Achsenkarte des inneren Westalpenbogens an, nachdem schon ein kurzer Besuch der Ligurischen Alpen dort ein ähnliches Achsensystem wie in den Schweizer Alpen ergeben hatte.

Überraschend war dabei das Vorwalten ost-west-gerichteter Faltenachsen auch bei nord-süd-gerichtetem tektonischem Großbau im Innenbogen der Westalpen. Im Grenzbereich von Alpen und Apennin zeigte sich, daß das alpidische Achsensystem noch weit in den Nordapennin hinein zu verfolgen ist, zunehmend überlagert jedoch von einem zweiten, jüngeren — „apenninen“ Achsensystem mit Nordwest-Südost-Streichen und zugeordneten Querspalten. Hier hat der Deckenbau das alpidische Gefüge noch überdauert, d. h. die aktive Frontbewegung des Apennin ist zeitlich jünger als diejenige der Alpen. Zusammen mit einer zeitlichen Analyse der Trogbildung und -verlagerung sowie unter Einbeziehung der Geophysik, insbesondere der Schweremessungen, ergab sich aus diesen Beobachtungen das Konzept der orogenen Fronten der jungen Faltengebirge; vergleichend

tektonische Untersuchungen in verschiedenen Teilen der mediterranen Faltengebirge führten zur Erkenntnis, daß hier im einzelnen zwar ähnliche Orogene, jedoch in z. T. recht unterschiedlichen Entwicklungsstadien vorliegen. Die vergleichende Strukturgeologie junger mediterraner Gebirge verspricht daher eine vertiefte Kenntnis vom Bewegungsmechanismus der Gebirgsbildung, zumal wenn es gelingt, die jüngsten, noch bis in die Gegenwart hinein aktiven Teiglieder des mediterranen Gebirgsgürtels mit den bereits weiter entwickelten älteren Teilstücken zu vergleichen. Diese Überlegungen führten zu einem gesteigerten Interesse der in der Deutschen Forschungsgemeinschaft zusammengeschlossenen Gremien an der geowissenschaftlichen Erforschung des Mittelmeerraumes und trugen so zur Bildung des Forschungsschwerpunktes „Geodynamik des mediterranen Raumes“ bei, über den zu berichten ich die Ehre habe.

Diese kurz skizzierte Entwicklungsgeschichte zeigt, daß am Beginn dieses Schwerpunktes also gefügekundliche Arbeiten gestanden haben, und wie vielfältig die Anwendung der Gefügekunde auf geologischem Gebiet ist. Lassen Sie mich aber noch kurz ein weiteres Beispiel anführen: Neuerdings werden seit der Wiederbelebung der Kontinental-Drifthypothese auch in zunehmendem Maße horizontale Schollenverlagerungen von Teilen des Mediterrangebietes diskutiert. Ein derartiges Objekt ist die Iberische Halbinsel; seit langem schon dachte man an einen ursprünglichen Gebirgszusammenhang zwischen asturisch-kantabrischem Küstengebirge und der Bretagne im Nordwesten Frankreichs. Trotz offensichtlicher Anklänge geologischer Übereinstimmungen über die Biskaya hinweg ergab die gefügekundliche Geländeaufnahme schwerwiegende Unterschiede, die einen unmittelbaren Zusammenhang von Nordwest-Spanien und Bretagne nicht stützen: Flache, einheitlich parallel Achsenlage hier steht einem nach Nordwest konvergierenden, am Atlantik an der Point du Penhir steilachsig heraushebendem Faltenbau dort gegenüber. Dies Beispiel zeigt, daß die Gefügekunde fähig ist, den manchmal etwas überschäumenden Gedankenflug der Geologen wohlwütig abzubremsen und durch Beibringung neuer Meßdaten auf den Boden der Tatsachen zurückzuführen.

Soviel einstweilen zur Anwendung der Gefügekunde in der Geologie. Ein wichtiger Gesichtspunkt seit den frühen Arbeiten von BRUNO SANDER ist aber auch das zeitliche Verhältnis von Gefügeprägung und Kristallisation, eine Frage, die Mineralogen und Geologen in gleicher Weise interessiert. Sicher werden einige der nachfolgenden Redner den mineralogischen Aspekt derartiger gefügekundlicher Arbeiten noch besser würdigen können als ich. Daher will ich mich hier auf die geologisch-tektonischen Konsequenzen beschränken.

Rein phänomenologisch gilt nach wie vor die grundlegende Unterscheidung nach prä-, syn- und posttektonischer Kristallisation bzw. vor-, syn- und nachkristalliner Verformung. Fragt man aber mehr detailliert nach der Art dieser Verformung, so lohnt es sich, nach Faltenbau und Bruchtektonik zu differenzieren: Nach meinen Beobachtungen scheint die Kristallisation die eigentlichen Faltungs- und Schieferungsstrukturen in der Regel zu überdauern, während sich die Bewegungen im Spätstadium der Gebirgsbildung mehr und mehr auf einen Bruchschollenbau konzentrieren, der sehr wohl entlang markanter Störungszonen (Diaphthoresezonen) nachkristalline Verformung verursacht.

Versucht man, diese Beobachtung in ein Gesamtbild vom orogenen Bewegungsablauf einzubauen, so ergibt sich eine zeitliche Reihenfolge: Deckentransport, Faltung und Schieferung bzw. Lineation, Kristallisation (meist in mehreren Teilstadien, zu Beginn noch mit der Gefügeprägung alternierend oder gleichlaufend) und schließlich Bruchschollenbau (der seinerseits bereits vielfach schon zu einem Zeitpunkt hoher Kristallisationsbereitschaft, also mit blastomylonitischem Charakter einsetzt). Neben der weitgehenden zeitlichen Überlappung der Teilstadien tritt das räumliche Nebeneinander benachbarter Orogenzonen mit unterschiedlichem Entwicklungsstand, etwa von außen nach innen eine Vorlandtrogl mit Absenkungs- (und Einengungs-)Tendenz, eine Außenzone mit Decken- und Faltenbau, gebirgswärts mehr und mehr in die Kristalloblastese einbezogen, wobei in echt alpinotypen Orogenen nicht selten die Umkristallisation mit Mineralassoziationen geringer Temperatur, aber vergleichsweise hohen Druckes einsetzt (Lawsonit-Albit- oder gar Lawsonit-Glaukophan-Fazies), eine Innenzone mit fortgeschrittener Umkristallisation, wobei nacheinander die Grünschiefer- und Amphibolitfazies durchschritten bzw. erreicht wird und nicht selten mit steigender Temperatur eine Abnahme des Druckes angedeutet ist (örtlich Andalusit an Stelle von Disthen, Kalifeldspat + Al_2SiO_5 an Stelle von Muskowit + Quarz, schließlich Orthopyroxen an Stelle von Orthoamphibol), endlich eine rückwärtige Zone mit diaphthoritischem Bruchschollenbau, der örtlich auch günstige Aufstiegswege für sialische Plutonite, weiter zum Rückland auch für simatische Vulkanite bietet (Zone des Rückseitenvulkanismus). Daran anschließend folgt das eigentliche Rückland, meist erneut mit Absenkungs-, aber in der Regel frei von Einengungstendenz (sofern nicht im weiteren Hinterland eine erneute Orogenfront folgt).

Diese Überlegungen zeigen, welcher Bedeutung der strukturellen Mineralogie und Petrographie auch aus der Sicht der vergleichenden Geodynamik zukommt. Im Verein mit der experimentellen Petrographie liefert sie uns die erforderlichen Meßdaten zur synoptischen Beurteilung eines Orogens bzw. zur Analyse des Bewegungsablaufes in Zeit und Raum, ohne die jede tektonische Vorstellung unvollständig bleiben muß.

Geodynamik des mediterranen Raumes

Bevor wir uns nun mit dem Ostalpen-Querschnitt und seiner Bedeutung im Rahmen des obengenannten Forschungsschwerpunktes befassen wollen, sind wohl einige Hinweise auf Zweck und Ziel des Gesamtprojektes am Platze. Zwar ist hier in Innsbruck das Mittelmeer relativ fern, und es liegen so zahlreiche Probleme geowissenschaftlicher Art gleichsam unmittelbar vor der Haustür, daß es weiterer Anregungen vielleicht nicht bedarf. Andererseits gehören die Alpen zweifellos als wesentlicher, ja sogar typusbildender Bestandteil zum mediterranen Faltengebirgsgürtel, und für das Verständnis der Alpengeologie sind die Vorgänge im mediterranen Rückland dieses Orogens von grundlegender Bedeutung. Für die vergleichende Geodynamik führt aber kein Weg an den Alpen vorbei; dieses so großartig erschlossene, nachhaltig geowissenschaftlich untersuchte Gebirge hat seit jeher die tektonische Vorstellungswelt nachhaltig beeinflusst, hier haben sich die grundlegenden Ideen des Gebirgsbaues entwickelt, und an diesem Prüf-

stein muß sich auch die Anwendbarkeit und Richtigkeit weiterer geodynamischer Gedankengänge erweisen.

Nun ist es, auch bei äußerster Konzentration der Mitwirkenden und der Mittel, nicht möglich, den gesamten mediterranen Raum innerhalb dieses Schwerpunktprogrammes mit detaillierten Arbeiten zu überdecken. Selbst einige der zahlreichen Mediterrangebirge vollständig zu erfassen und miteinander zu vergleichen, wäre noch von der Aufgabe her zu umfangreich. Bei den vorbereitenden Besprechungen hat man sich daher für ein Programm entschieden, das auch innerhalb einer überschaubaren Frist zu bewältigen ist und brauchbare Ergebnisse erwarten läßt, statt von vornherein im Utopischen zu enden. Es galt also, nach einer sinnvollen, selbst auferlegten Beschränkung zu suchen, die einerseits in der Auswahl der geeigneten, in die Betrachtung einzubeziehenden Gebirge bestand, andererseits in einer Konzentration auf günstige, für einen überregionalen Vergleich brauchbare Profile, d. h. Gebirgsquerschnitte im echten Sinne. Um aber von Anfang an ein ausschließlich zweidimensionales Denken und Arbeiten auszuschließen, wurde der Begriff des geologischen Querprofiles durch den einer „Geotraverse“ ersetzt. Hierunter sei im vorliegenden Falle ein zwar quer zum Generalstreichen des Gebirges verlaufender Gebietsstreifen verstanden, der sich aber gegenüber einer Profillinie herkömmlicher Form durch seine nicht unbeträchtliche Breite (gedacht ist an ca. 50 km), unterscheidet.

Entlang derartiger Geotraversen sollen Struktur und Entwicklung der Erdkruste erforscht werden, wobei natürlich alle bereits vorliegenden Untersuchungen Berücksichtigung finden. Aus dem Vergleich der Geotraversen durch ausgewählte Orogenzonen des Mittelmeergebietes und der Alpen werden Rückschlüsse auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Bewegungsablaufes alpinotyper Orogene erwartet, die unsere Kenntnis von der Anlage, Entstehung und künftigen Entwicklung junger Gebirgsgürtel der Erde vertiefen sollen. Das Schwerpunktprogramm dient darüber hinaus der gezielten Förderung geowissenschaftlicher Zusammenarbeit über die Grenzen der Fachbereiche, und möglichst auch die Landesgrenzen hinweg. Nicht geplant ist, beliebige isolierte Forschungsvorhaben an südlichen Küsten zu finanzieren oder eine unerbetene Einmischung in fremde Hoheitsgebiete zu betreiben. Inzwischen verfügen die meisten Mittelmeerländer über eigene geologische Institutionen, denen in jedem Falle das Primat der örtlichen Untersuchungen und der geologischen Landesaufnahme zukommt. Dagegen wäre es erwünscht, diejenigen Unterlagen zu erarbeiten, die für den angestrebten überregionalen Vergleich von Gebirge zu Gebirge erforderlich sind, aber auf Grund ortsständiger Untersuchungen noch nicht vorliegen.

Außer diesem Geotraversen-Programm sind noch weitere Arbeitsgruppen vorgesehen, teilweise sozusagen als flächenhafte Ergänzung zu den mehr linienartigen Geotraversen, teilweise mit besonderer Aufgabenstellung. Es sind dies

- Paläogeographie und Geochronologie
- Wurzelzonen (im geophysikalischen und tektonischen Sinn)
- Sedimentation unter mediterranen Bedingungen
- Lagerstätten
- Petrographie/Petrologie

wobei es ein allgemeines Ziel der Schwerpunktarbeit in den Geotraversen wie den Arbeitsgruppen sein soll, die Forscher weitmöglichst schon bei der Arbeit und nicht erst bei der Berichterstattung in Symposien und Vortragstagungen zusammenzuführen.

Im Schwerpunktprogramm „mediterrane Geodynamik“ soll darüber hinaus verstärkt eine Verknüpfung geowissenschaftlicher Erforschung der Meere mit darauf abgestimmter Forschung auf dem Festlande gefördert werden. Gewisse technische Unterschiede im Einsatz beispielsweise der Land- und der Seegeophysik brachten es mit sich, daß nicht selten die direkte Verbindung der einzelnen Aufnahmebereiche fehlt. Wo es sich dabei um rein ozeanische oder rein festländische Strukturen handelt (wie etwa bei den Tiefseegräben des Pazifik, der negativen Schwereanomalie südlich von Kreta oder etwa den Gebirgswurzeln im Airyschen Sinne), fällt diese Trennung nicht weiter ins Gewicht, weil die Lücken der Aufnahme nicht in strukturbedeutsame Bereiche fallen. Die besondere Eigenart junger, orogen-aktiver Gebirge ist aber gerade ihre enge Verknüpfung von Land und Meer, von bereits aufsteigendem Frontrücken und unmittelbar vorgelagerter, mariner Vortiefe, wobei gerade einer der wichtigsten Augenblicke im Bewegungsablauf der Orogenese, nämlich der Übergang von der Absenkungs- und Einengungstendenz der Vortiefe zur Hebungs- und Dehnungstendenz des Frontrückens, zwansläufig in den Küstenbereich fällt. Hier wäre es unverantwortlich, eine Nahtstelle zuzulassen, wo gerade besonders intensive Beobachtungen notwendig ist.

Lassen Sie mich dies noch an einem konkreten Beispiel näher erläutern: Beim Südapennin-Bogen fällt die negative Schwereanomalie an der Südküste Kalabriens weder zur Gänze in den Bereich der Festlands-, noch der Seegravimetrie, sondern erreicht ihre Maximalwerte unmittelbar nahe der Küstenlinie, so daß die Gesamtstruktur hoffnungslos zerschnitten würde, ließe man sich lediglich nach meßtechnischen bzw. verkehrsmäßigen Gesichtspunkten leiten. Das Orogen bildet eine Einheit, die auch als solche geowissenschaftlich gesehen und untersucht werden muß. Dieser kombinierten geowissenschaftlichen Arbeit zu Wasser und zu Lande soll auch der Einsatz des deutschen Forschungsschiffes „Meteor“ im Mittelmeer dienen.

Bei der Auswahl der mediterranen Orogene für die geplante Schwerpunktarbeit kam es darauf an, einerseits charakteristische, gut zugängliche und aufgeschlossene Gebirge, andererseits solche mit unterschiedlichem Entwicklungsstand einander zum Vergleich gegenüberzustellen. Aus der erdgeschichtlichen Entwicklung und engen räumlichen Verbindung der mediterranen Orogene läßt sich schließen, daß diese gleichsam einer gemeinsamen Orogenfamilie angehören, wofür zahlreiche Übereinstimmungen in der paläogeographischen Position, in der Anordnung der Faziesräume, in der Art der Bewegung und Verformung, im Auftreten der Gesteinsmetamorphose, im Plutonismus und Vulkanismus, ja sogar in der orographischen Gestaltung sprechen. Diese Gemeinsamkeiten sind wichtig, denn vergleichen läßt sich nur Vergleichbares. So zeigen beispielsweise die zirkumpazifischen Orogene eine grundlegend andere Position, nämlich am Rande einer ausgedehnten Kalotte mit ozeanischem Krustenbau, fernab von den kontinentalen Tafelländern, die doch den mediterranen Orogenen weit näher, im

Falle des Atlas und der Karpaten praktisch unmittelbar benachbart sind. Ein Vergleich beispielsweise der Insulinde oder der Anden mit den Alpen wäre daher von vornherein mit weit größeren Unsicherheiten belastet als ein solcher mit unmittelbar benachbarten Orogenen.

Daneben weisen die Gebirgszüge des Mittelmeeres aber auch nicht zu übersehende Unterschiede auf, gewissermaßen persönliche Merkmale, die es bei aller Familienähnlichkeit auch im menschlichen Leben gibt. Auch Orogene besitzen ihre eigene, individuelle Vorgeschichte und Entwicklung, abhängig von den örtlichen Bedingungen des Mantels und der Kruste, der sedimentären Vorgänge im Geosynklinallstadium, der Lage zu benachbarten Hebungs- oder Senkungsräumen, Tafelländern oder Ozeanen, ja der Position innerhalb der Klimazone (man denke etwa an die Temperaturabhängigkeit der Kalkabscheidung, an den unterschiedlichen Gang der Verwitterung und Abtragung in Abhängigkeit vom Klima).

Ein Teil der individuellen Merkmale, und das gilt wieder für Orogene wie für belebte Wesen, ist jedoch auch durch unterschiedlichen Entwicklungsstand, also abweichende persönliche Reife bzw. Altersstellung bedingt. Jugendstadien werden ja bekanntlich nicht selten mit fortschreitender Entwicklung der älteren Generation täuschend ähnlich. Während man früher meist annahm, daß die alpidische Gebirgsbildung den gesamten mediterranen Faltengebirgsgürtel nahezu gleichzeitig erfaßt hätte, daß also alle individuellen Merkmale auf anlagebedingte Wesensunterschiede der einzelnen Gebirge zurückzuführen seien, setzt sich neuerdings mehr und mehr die Erkenntnis durch, daß sich gerade im Mittelmeerraum erhebliche Unterschiede der orogenen Entwicklung nachweisen lassen. Die einzelnen Teilstücke des mediterranen Faltengebirgsgürtels haben teilweise charakteristische Entwicklungsstadien der Gebirgsbildung zu ganz unterschiedlichen erdgeschichtlichen Zeitpunkten erreicht bzw. durchlaufen. Als solche charakteristische Stadien der orogenen Entwicklung kann man beispielsweise im orographischen Sinn nennen

- das pelagische Stadium
- das Inselbogen- bzw. Archipel-Stadium
- das Stadium des Frontrückens
- das Stadium des Endlagengebirges mit Hochgebirgscharakter,

also Formen, die wir aus der heutigen Topographie des Erdballes kennen, die sich aber aus der erdgeschichtlichen Entwicklung unserer Gebirge erschließen lassen. Faziell würde eine ähnliche Gliederung etwa wie folgt lauten:

- Eugeosynklinallstadium
- Flyschstadium
- Molassestadium
- epikontinentales Stadium,

wobei diese Gliederung keineswegs mit der vorigen a priori gleichzusetzen ist (so wird man dem Inselbogen-Stadium möglicherweise nacheinander Eugeosynklinall- und Flyschcharakter, dem Stadium des Frontrückens Flysch- und später Molassesedimentation sowie dem Endlagengebirge anfangs Molasse-, dann epikontinentale Entwicklung zuordnen müssen). Weitere kritische Indizien liefert

der tätige Plutonismus und Vulkanismus, in der Gegenwart die seismische Aktivität und der endogene Wärmefluß.

Für den angestrebten Vergleich von Orogen zu Orogen kommt es nun darauf an, möglichst unterschiedliche Typen dieser Entwicklungsreihen zu erfassen, also den Entwicklungsablauf eines idealisierten alpinotypen Orogens aus benachbarten, verwandten Teilstücken eines Gebirgsgürtels mit unterschiedlichem Entwicklungsgrad abzuleiten, weil er an ein und demselben Orogen wegen der Langsamkeit des geologischen Vorganges innerhalb der Zeit menschlichen Erlebens nicht unmittelbar zu beobachten ist. Lassen Sie mich wieder den Vergleich einer menschlichen Familie heranziehen: „Urahn, Großmutter, Mutter und Kind“, vor 150 Jahren von Gustav Schwab so eindrucksvoll mit ihren, je nach Alter und Entwicklung unterschiedlichen Hoffnungen und Sorgen gegenübergestellt, umspannen gleichzeitig zusammengenommen auch den ganzen Bogen des individuellen menschlichen Schicksals. Von gewissen unvorhersehbaren Zufällen (wie den Blitz, welcher das Leben jener Familie bei Gustav Schwab endet) abgesehen, können wir aus der Geschichte unserer Familien mit einiger Wahrscheinlichkeit auf unsere eigenen, anlagebedingten Möglichkeiten, Neigungen und Schwächen, kurz zukünftigen Verhaltensweisen schließen. Bei allem, jederzeit gerne eingeräumten Unterschied zwischen organischer und anorganischer Natur zeigt dies Beispiel doch anschaulich das Grundprinzip eines solchen geodynamischen Vergleiches, und läßt unschwer den Ansatzpunkt für eine geodynamische Prognostik, d. h. Trendbestimmung künftiger Entwicklungen innerhalb geologischer Zeiträume, erkennen.

Nach diesem etwas philosophischen Exkurs jedoch zurück zu den Absichten des Schwerpunktprogrammes: Es galt, neben den obgenannten Gliederungen noch ein mehr exakt definierbares Auswahlkriterium zu finden, zumal über das Vorhandensein eines Eugeosynklinal — und eines Flyschstadiums im heutigen Mittelmeerraum zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch zu wenig bekannt ist. Als solches Kriterium wurde die Geophysik, insonderheit die Gravimetrie, herangezogen, da sie über das Vorliegen von Ungleichgewichtszuständen im tieferen Untergrund der Orogene zum gegenwärtigen Zeitpunkt Auskunft zu geben vermag: Junge Senkungsvorgänge in Gebieten mit Schweredefizit — oder rezente Hebungen von Schwellen, die sich durch Schwereüberschuß auszeichnen — streben kein Gleichgewicht im isostatischen Sinne an, sondern sind nur durch gleichgewichtsstörende Einflüsse erklärbar. Alle Orogenese geht aber letztlich auf derartige gleichgewichtsstörende Bewegungen bzw. Kräfte zurück, während offenbar der epirogene Bewegungsablauf überwiegend gleichgewichtskonform, isostatisch, erfolgt.

Will man also wissen, wo gegenwärtig noch defartige orogene Ungleichgewichte bestehen bzw. sich verstärken, so gilt es, die Lage und Intensität der zugehörigen Schwereanomalien zu erfassen. Gebirge, deren negative Schwereanomalie mit den Konturen der Erdkrustenerhebung weitgehend übereinstimmt, lassen zwar noch auf eine gewisse isostatische Hebung schließen, aber keinen seitlichen Anbau mehr erwarten. Sie haben die Aktivität ihrer orogenen Frontverlagerung eingebüßt, also ihre endgültige Position eingenommen; wir nennen sie daher Endlagengebirge. Gebirgsrücken mit ausgeprägter Vortiefe, nach außen vorgesch-

bener negativer Schwereanomalie mit rezenter Senkungstendenz, stellen noch aktive Frontgebirge dar, insbesondere bei noch tätigem Rückseitenvulkanismus und entsprechender seismischer Aktivität. Ein Inselbogen, dem eine ausgeprägte negative Schwereanomalie, weit auswärts vorgeschoben, vorgelagert ist, befindet sich in einem vergleichsweise frühen Stadium der orogenen Entwicklung und läßt noch eine beträchtliche seitliche Verlagerung der gebirgsbildenden Aktivität erwarten.

Alle diese Stadien sind gegenwärtig im Mittelmeerraum verwirklicht und stehen daher in räumlich enger Nachbarschaft für den angestrebten geodynamischen Vergleich zur Verfügung. Nach eingehender Erwägung der obengenannten Kriterien wurden daher die folgenden Teilstücke des mediterranen Gebirgsgürtels ausgewählt:

das Ägäis-Archipel mit dem Inselbogen von Kreta
der Südapenninbogen mit dem vorgelagerten Ionischen Meer
der Nordapennin mit der Poebenen-Vortiefe
die Alpen.

Die beiden ersten Beispiele zeichnen sich durch noch tätigen Rückseitenvulkanismus (und beträchtliche seismische Aktivität) aus, während bei den beiden letzteren der Rückseitenvulkanismus seit dem Jungteritär erloschen und die seismische Aktivität im Abklingen ist. Während im ersten Falle die negative Schwereanomalie vollständig im Bereich des Vorlandes liegt, fällt sie bei den Alpen mit den Konturen des Gebirges weitgehend zusammen. Süd- und Nordapennin weisen ein Maximum des Schweredefizits nahe der Küstenlinie des Ionischen Meeres bzw. am nördlichen Fuß des Gebirges auf, wobei allerdings im Süden die Absenkung der Vortiefe noch nicht durch Sedimentation aufgewogen wird, während im Norden, im Bereich der Poebene, die rezente Sedimentation die gegenwärtige Absenkungsrate übertrifft.

In einem späteren Stadium der Untersuchungen wird es durchaus zweckmäßig sein, auch weitere Mediterrangebirge (und möglicherweise nicht nur diese) in die Betrachtung einzubeziehen. Zu Anfang ist allerdings aus den oben angegebenen Gründen eine Konzentration der Kräfte auf die Untersuchung der genannten Orogenzonen vordringlich.

Die Ostalpen-Geotraverse

Den Alpen kommt im vorliegenden Falle der Typus des Endlagengebirges zu, d. h. auf Grund der Schwereverhältnisse ist hier kein weiterer Ausbau in nördlicher Richtung zu erwarten. Der ortsfeste Zustand in diesem Sinne besagt keineswegs, daß die Alpen bereits am Ende ihrer Entwicklung stehen, jedoch ein Vergleich mit den übrigen genannten Orogenen weist ihnen ein weit fortgeschrittenes Stadium der Gebirgsbildung zu. Insbesondere die isostatisch-epirogene Entwicklung des Alpenkörpers dürfte auf Grund der gravimetrischen Verhältnisse noch nicht abgeschlossen sein.

Ortsfeste Fronten bedeuten aber zugleich festliegende Grenzen der alpinen Baueinheiten. Eine der vordringlichen Aufgaben ist daher vom Beispiel der

Alpen aus die geodynamische Charakterisierung dieser Baueinheiten zwecks Parallelisierung mit den Gebirgsabschnitten der übrigen Orogene. Man wird dabei freilich nicht unbedingt nach weitgehender geologisch-fazieller Übereinstimmung suchen dürfen, sondern muß wohl, bei gewisser Verschiedenheit im einzelnen, die geodynamische Analogie zu erkennen trachten.

Welche Aufgabe kommt dabei der Gefügekunde zu? Zunächst wohl die Trennung vor-alpidischer und alpidischer Gefügeprägung und Kristallisation, da in erster Linie die junge Gebirgsbildung zu vergleichen ist. Da auch die übrigen mediterranen Orogene bereits vorher weitgehend in paläozoische Gebirgsbildungsvorgänge einbezogen waren, mag dann ein Vergleich der vor-alpidischen Verformungs- und Umwandlungs-Anteile folgen.

Soweit nicht bereits geschehen, ist eine Auskartierung der alpidischen Gefüge- und Metamorphosezonen erwünscht; dabei interessiert vor allem die Frage, wie weit charakteristische Mineralparagenesen im Sinne der experimentellen Petrologie nachzuweisen sind, welche die Festlegung räumlicher Druck-Temperatur-Bedingungen während der Gebirgsbildung ermöglichen. Denn nur in den Alpen haben wir infolge der guten Aufschlußbedingungen Zugang zu vergleichsweise strukturell tiefen Stockwerken des Gebirgskörpers, die bei den oben genannten übrigen Orogenen in der unzugänglichen Tiefe verborgen liegen. Dafür wird man dort mittels Wärmeflußbestimmungen Aufschluß über die Wärmeabgabe in zentralen und rückwärtigen Abschnitten aktiver Gebirgsbildungszonen erhalten können, was wiederum für die Metamorphoselehre wie für die Energiebilanz der Orogenese von entscheidender Bedeutung ist.

Für die Auswahl der Geotraverse durch die Alpen war daher eine Lage im Bereich eines Querprofiles mit ausgeprägter Achsenkulmination erwünscht. Hierbei war an die Zentralmassive der Westalpen, an das Unterengadiner Fenster oder die Hohen Tauern zu denken. Bei einer Geotraverse durch letztere ergab sich ein besonders guter Anschluß an die Nordapennin-Geotraverse, welche dort die Kulmination der Apuanischen Alpen quert. Mit Knickpunkt im Bereich der Pomündung ergab sich so ein durchlaufendes Profil durch zwei bedeutende mediterrane Orogene unter Einbeziehung der rezenten Senkungsgebiete zwischen Venedig und Ravenna.

Daß damit die Alpen-Geotraverse zwischen dem Raum München und Venedig als wichtige Station auch gerade Innsbruck berührt, ist natürlich ein besonderer Anlaß, an dieser Stelle darüber zu berichten. Speziell an die Mineralogen unter den Kennern der ostalpinen Regionalmetamorphose richtet sich daher die Frage der Einbeziehung der längs dieser Geotraverse gequerten Baueinheiten in bestimmte mineralfazielle Metamorphosezonen, etwa der Einbeziehung der nördlichen Kalkalpen in niedrigtemperierte Bereiche der Umwandlung, des örtlichen Auftretens der Zeolith- oder auch der Glaukophanschiefer-Fazies, der jeweils in den einzelnen Baueinheiten erreichten höchsten Umwandlungsstufe sowie den späteren Faziesbedingungen in den Diaphthoresozonen während des Bruchschollenbaues nach der eigentlichen Falten tektonik. In einem weiteren Arbeitsablauf gilt es, diese mineralogischen Beobachtungen mit Hilfe von Ergebnissen der experimentellen Petrologie in Druck- und Temperatur-Werte zu übersetzen,

um auch quantitative Anhaltspunkte für die Lage der Druck- und Temperatur-Fronten beim Übergang in den ortsfesten Zustand bzw. im Stadium der anschließenden Inaktivierung zu erhalten. Die Druck- und Temperaturbedingungen der Teilbereiche des Alpenkörpers im zeitlichen Ablauf der Orogenese zu kennen, ist ein wesentlicher Schritt der geodynamischen Forschung, der uns zweifellos auch der Klärung von Fragen nach der Ursache dieser Vorgänge in Kruste und Mantel sowie schließlich der Blockierung vorrückender Orogenfronten in Annäherung an epikontinentale Tafelländer und varistisch konsolidierte Gebirgsabschnitte in geokraten Abschnitten der Erdgeschichte näher bringt.

Beim Vergleich der Baueinheiten verschiedener Orogene untereinander ist naturgemäß auch die Horizontalverlagerung im Zuge des Deckentransportes zu berücksichtigen. Die Bewegung ausgedehnter Schollenkomplexe über weitere Entfernung war bisher mechanisch nur schwer verständlich; ein Schub von der Wurzel her stößt bei größerem Transportweg auf immer stärkeren Widerstand, also rasch abnehmenden Wirkungsgrad, und der rein gravitative Transport macht primäre Geotumore mit Böschungsweiten analog zum Transportweg erforderlich, die sich im Falle des vielfach angenommenen Fernschubes nicht nachweisen, d. h. im engen Raum zwischen den mediterranen Orogenen unterbringen lassen. Hier bringt das Prinzip der Frontverlagerung der orogenen Senkungs- und Hebungszonen in Raum und Zeit während der Gebirgsbildung eine vergleichsweise einfache, leicht verständliche Lösung: Durch das Wandern der orogenen Aktivität im Zuge der Frontverlagerung bleibt auch bei vergleichsweise schmalen Frontrücken stets ein Gefälle zur auswärts wandernden Vortiefe erhalten, d. h. der gravitative Antrieb verlagert sich im gleichen Sinne auswärts wie die Deckenbewegung selbst. Vergleichbar dem Vorgang beim Wellenreiten an rezenten Meeresküsten werden Deckschollen vor der vorrückenden Orogenfront vorangetragen; durch die stetige Absenkung der Vortiefe des seitlichen Widerlagers vor der Deckenstirn beraubt, die Hebungstendenz als gravitativen Antrieb im Rücken, vermögen sich strukturhohe Gesteinspakete über längere Zeit der Einengung des Untergrundes zu entziehen, um sich statt dessen weit in Richtung zum Vorland zu bewegen. Diese Bewegung ist offenbar so langsam und stetig, daß es nicht selten sogar während des Transportes zu molasseartiger Sedimentation im Hangenden der Deckenpakete oder über der Deckenstirn kam, d. h. die Deckenbewegung hat vielfach keinerlei Veränderung der faziellen Bedingungen und damit der Lebensgemeinschaften verursacht. Derartige Deckschollen vermögen alleine zu wandern; der geschlossene Schichtverband zur Wurzelzone zwecks Übertragung des Antriebes sowie die ausgedehnten Tumorfanken sind nicht mehr erforderlich. Diese Erkenntnis macht es verständlich, daß uns heute selbst größte Transportweiten nicht mehr schrecken, vorausgesetzt, es läßt sich eine analoge Frontverlagerung nachweisen.

Von geophysikalischer Seite ist im Bereich der Ostalpen-Geotraverse die Untersuchung und Lokalisierung der seismischen Aktivität im Alpenvorland, ein refraktionsseismisches sowie ein magneto-tellurisches Meßprogramm zwischen Chiemsee und Venedig, das Studium von Nachbeben mittels mobiler Stationen und die Erforschung der Krustenstruktur speziell im Südteil der Südalpen geplant.

Als Grundlage für den Vergleich mit den übrigen Geotraversen sollen auf der Grundlage der bisherigen Kenntnis Alpen-Profile vom Chiemsee bis zur Poebene zusammengestellt werden. Dem Studium des orogenen Vorstadiums dient eine spezielle Untersuchung des Jura im Bereich der Geotraverse, wobei den Mangan-führenden bituminösen Mergelsteinen im Lias der nördlichen Kalkalpen eine besondere Studie gewidmet ist. Geologische Untersuchungen im Gebiet der nördlichen Kalkalpen werden auch in diesem Schwerpunkt weiter gefördert, speziell hinsichtlich der Obertrias im Bayerisch-Nordtiroler und Berchtesgadener Faziesbereich, bei Bayrischzell und andernorts. Die paläogeographische Entwicklung der inneralpinen Gosau östlich und westlich des Inntales ist Gegenstand einer weiteren Untersuchung im Rahmen dieses Schwerpunktes. Im Bereich der Zentralalpen sind Arbeiten zur alpidischen Metamorphose im Bereich Groß-Venediger/Zillertaler Alpen, im Bereich der Karnischen Alpen Untersuchungen zur Paläogeographie und Fazies des Jungpaläozoikums und in den Südalpen tektonische sowie faziesanalytische Arbeiten in der Trias des Vizentinischen und Lombar-dischen Beckens geplant.

Von geographischer Seite werden Beiträge zur Frage der jungen Abtragungsvorgänge der nördlichen Kalkalpen, über Abtragungsprozesse und Altformen in den Zentralalpen, Dolomiten und Karnischen Alpen sowie zur jungtertiären Sedimentation am Nordrand der östlichen Poebene und Formentwicklung in den Venetianischen Alpen erwartet. Eine Ergänzung stellen die geplanten geochemischen Untersuchungen im Bereich der Geotraverse dar; erwünscht, wenn auch noch nicht näher konzipiert sind darüberhinaus geodätische Messungen über rezente Krustenbewegungen.

Lassen Sie mich nach diesem kurzen Überblick schließen mit der Bitte um Ihr Verständnis dafür, daß in diesem Vortrag weniger von Neuergebnissen eigener Arbeiten zur Alpengeologie, als vielmehr von Plänen für zukünftige Forschungen die Rede war. Als einer der beiden gewählten Hauptkoordinatoren für das genannte Schwerpunktprogramm hielt ich es aber für meine kollegiale Pflicht, Sie als Freunde und Fachkollegen über die Aufgaben und Ziele dieser geplanten Arbeiten zu informieren, an denen zahlreiche deutsche geowissenschaftliche Institutionen beteiligt sein werden. Sie im Namen aller Beteiligten wie bisher um eine gute Zusammenarbeit zu bitten, ist mir ein besonderes Anliegen, im Interesse der gemeinsamen Sache und des Fortschrittes unserer Wissenschaft.