

Für und wider die Allochthonie der Kalkalpen sowie ein neuer Beweis für ihren Fernschub

VON ALEXANDER TOLLMANN *)

Mit 2 Abbildungen.

Inhalt

Zusammenfassung

Einleitung

Die bisherigen Beweise für den Fernschub der Kalkalpen

A) Einwände

B) Belege

Die Bedeutung der Arosa Schürflingszone am Westrand der Kalkalpen

Die Fortsetzung des basalen kalkalpinen Reibungssteppichs in den Zentralalpen:
die Madrisazone

Literatur

Zusammenfassung

Es wird ein Überblick über die heute vorliegenden Fakten für und wider die Allochthonie der Nördlichen Kalkalpen in den Ostalpen gegeben. Hierzu werden zunächst die sieben Einwände zusammengestellt, die bis jüngst als Argumente gegen den Fernschub verwendet worden sind. Ihre unzureichende Aussagekraft wird klargestellt. Anschließend werden die 13 Argumente erwähnt, die für den Fernschub der Kalkalpen sprechen. Diese Argumente stellen zum guten Teil nicht nur Indizien, sondern auch echte Beweise analog der Tiefbohrung Urmannsau dar. Als 14., neues Argument, ebenfalls als Beweis für den Fernschub über die Zentralalpen zu werten, wird der auf der einstigen Schubbahn im Raum der Zentralalpen im Prättigau liegen gebliebene kalkalpine Schollenteppich beschrieben, dessen Stellung und regionaltektonische Bedeutung erst jetzt erfaßt worden ist. Diese Schollenzzone mit Faziesleitgesteinen der Kalkalpen muß entgegen der bisherigen Gepflogenheit von der Arosazone abgetrennt werden und wird hier als Madrisa-Schollenzzone bezeichnet. Sie reicht von den Ausläufern des Rhätikon zwischen der Arosazone im Liegenden und dem Silvrettakristallin im Hangenden 13,5 km weit gegen S in zentralalpines Gebiet, als Zeuge des einstigen Vormarsches der Kalkalpen.

Während Punkt 1 bis 8 nur den bedeutenden Transport der Kalkalpen über die Randzonen der Ostalpen beweisen, sind in Punkt 5a und 9 bis 14 Zeugen vorhanden, die den Fernschub der Kalkalpen auch über andere, zentralalpine Einheiten hinweg belegen und gegen eine am Platz erfolgte Einengung der Kalkalpen in primärer Nachbarschaft der Nordrandzonen aussagen.

*) Adresse des Autors: Geologisches Institut der Universität, A-1010 Wien, Universitätsstr. 7.

Einleitung

Bei der von Prof. R. TRÜMPY im September 1969 in der Ostschweiz geleiteten Exkursion der SGF wurde eine seit langem bekannte, aber in ihrer Zuordnung unsichere Schollenzone unter dem Silvrettakristallin im Bereich des Madrisahornes in Klosters im Prättigau besucht. Hierbei ließ sich durch die Entdeckung der faziell wertvollen Partnach-Arlberg-Schichtgruppe, z. T. algenführend, durch R. TRÜMPY und M. LEMOINE diese Zone (in Übereinstimmung mit der Auffassung von W. v. SEIDLITZ, 1906) als kalkalpin einstufen. Als tektonische Deutung für das Auftreten dieser kalkalpinen Schollenreihe unter dem Silvrettakristallin wurde hierbei von einigen Exkursionsteilnehmern eine primäre Wurzelung der Kalkalpen unter diesem Kristallin ins Auge gefaßt, ähnlich wie einst M. RICHTER (1930, S. 504) hier die Lechtaldecke primär (bis zum Ortler-Mesozoikum) durchstreichen gesehen hatte. Da die Kalkalpen als Ganzes, und zwar gerade die Lechtaldecke im besonderen, im Westen an ihrem Südrand steil über dem Kristallin der Zentralalpen ausheben, stammen sie mit Sicherheit aus einem höheren Stockwerk.

Die Position der kalkalpinen Schollen zwischen Arosazone und Silvrettakristallin läßt sich unter Berücksichtigung dieser Gegebenheit nur als ein Schollenteppich an der Reibungsfläche zwischen Kalkalpen und Arosazone deuten, wie ich bei ebendieser Exkursion der SGF ausgeführt habe: Nach einem ersten Vorschub der oberostalpinen Kalkalpen über die mittelostalpine Silvrettamasse (samt Thialspitz-Mesozoikum) kam das kalkalpine Sedimentpaket an die Front des Ostalpin als Ganzes zu liegen. Die Kalkalpen gerieten damals direkt auf die noch davorliegende Arosazone. Dies beweisen die beim weiteren Vorschub der Kalkalpen in jüngerer Phase von eben dieser Arosazone abgerissenen Späne und Schürflinge, die sich heute bis Hindelang im Allgäu verschleppt an der Sohle der Kalkalpen vorfinden. Daß andererseits an derselben Grenzfläche durch den gleichen Vorgang kalkalpine Schollen abrissen und liegenblieben, und zwar auch noch im Bereich der Zentralalpen, ist hierbei zu erwarten. Sie sind tatsächlich, durch das noch weiter nachschiebende Silvrettakristallin überdeckt und konserviert, erhalten geblieben. Die Erfassung dieses kalkalpinen Schollenteppichs im Prättigau liefert daher einen neuen direkten Beweis für die Herkunft der Kalkalpen aus dem Süden, einen Beweis für den Transport über zentralalpines Gebiet (Abb. 2). Dabei soll betont werden, daß die Madrisazone gerade unter dem neuen Gesichtspunkt nunmehr ebenso wie ihre Begleitgesteine (überlagernde sogen. „Karbonschiefer“ am Madrisahorn u. dgl.) erst in Einzelheiten studiert werden muß.

Die bisherigen Beweise für den Fernschub der Kalkalpen

Noch in neuerer Zeit war besonders von Seiten der deutschen Geologen — auch von jenen, die in den deutschen Alpen gearbeitet hatten — der Fernschub der Kalkalpen über die zentralalpinen, tektonisch tieferen Einheiten hinweg überwiegend abgelehnt worden, meist in Verbindung mit der Negierung des Tauernfensters. Oder die Frage nach der Beheimatung der Kalkalpen gegenüber

Pennin und anderen zentralalpinen Einheiten war von dieser Seite wenigstens als noch immer ungeklärt bezeichnet worden. Nun hat sich aber auf der anderen Seite die Zahl der gut überschaubaren Beweise stets — und zwar besonders in neuester Zeit — vermehrt, so daß in persönlichen Gesprächen mancher der führenden Gegner des Fernschubes der Kalkalpen eingelenkt hat. Da aber von dieser Seite trotz aller weiteren Beweisstücke keine Revision der alten, publizierten Anschauungen erfolgt ist, erscheint es im Zusammenhang mit dem hier vorgelegten weiteren Beweisstück für die Herkunft der Kalkalpen aus dem Süden der Zentralalpen angebracht, in Kurzform einen Überblick über die derzeit noch bestehenden Einwände und über die bereits bisher vorliegenden Beweise zu diesem Thema zu geben. Da es aber Hauptzweck der Zeilen ist, auf die Bedeutung der neuen Beobachtungen aufmerksam zu machen, so wird diese hier vorausgeschickte Kurzzusammenfassung in extrem gedrängter Form abgefaßt, da ein etwas tieferes Eingehen auf die einzelnen Punkte sofort den Rahmen der geplanten Mitteilung bei weitem sprengen würde.

A. Einwände gegen den Fernschub

0. Von einer Stellungnahme zu älteren und veralteten Einwänden, wie man sie nur noch mündlich gelegentlich zu hören bekommt — wie etwa jenem aus der Anfangszeit der Deckenlehre: „Die Gesteinsfestigkeit würden einen Transport so dünner Decken auf Grund des Reibungswiderstandes nicht zulassen“ usw. kann auf Grund der sichtbaren Existenz von gewaltigen Decken und Deckensystemen in zahlreichen Gebirgen der Erde abgesehen werden.

1. Die Steilstellung der Grenze Kalkalpen-Flysch in den westlichen Kalkalpen, die auch durch die Bohrung Bergen 1 (O. GANSS, 1956, S. 144) bewiesen ist, da dort unter der kalkalpinen Randzone der Kreideflysch steil erst ab 821 m einsetzt: „Flysch und Kalkalpen liegen sozusagen nebeneinander, damit ist die Deckennatur der Allgäu-Decke widerlegt“ (W. ZEIL, 1959, S. 96).

Man weiß aber einerseits aus den geophysikalischen Messungen im deutschen Alpenvorland (z. B. E. VEIT, 1963, Prof. 14—16), daß die Grenzen sich nach steiler Stirnzone in der Tiefe nach S mehr und mehr flach legen, andererseits kennt man das Phänomen der sekundären Steilschichtung je ebenso im Ostteil der Kalkalpenfront, wo z. B. vor der stärker bewegten Weyerer Struktur solche steile Stirnzonen vorhanden sind, während flache Lagerung der Kalkalpen-Untergrenze in Verbindung mit tiefgreifenden Fenstern (Flyschfenstern der Frontregion) W und E davon sichtbar ist. Die Steilstellung der Stirnpartie einer Decke kann die verschiedensten Ursachen haben, ist aber keineswegs beweisend für einen geringen Schub, wie ja von vielen Autoren betont worden ist (vgl. H. G. WUNDERLICH, 1964, S. 37).

2. Die größte Mächtigkeit der Triassedimente tritt im W in der Kalkalpen-Mittellängsachse auf. Die Mächtigkeitsabnahme gegen den Nord- und Südrand hin weist auf eine noch erhaltene, für die Autochthonie sprechende Trogform hin (Einwände von Vertretern der Münchner Schule).

Zunächst ist die Auffassung einer regelmäßigen Mächtigkeitsabnahme gegen den Nordrand hin revisionsbedürftig: Der im Kalkalpeninneren z. B. 2000 m mächtige Hauptdolomit nimmt bis zur Stirn der Lechtaldecke — etwa im weiteren Raum der Benediktenwand — bis auf wenige Zehnermeter und noch geringere Beträge ab. Blickt man aber weiter gegen N, so ist in der Allgäu-Decke wiederum eine Mächtigkeitzunahme bis auf 700 m zu registrieren (M. RICHTER, 1937, S. 107 u. a.). Grundsätzlich aber läßt die Art des Herausschneidens und Transportes eines einstigen Sedimentationstrogos überhaupt keine Aussage über die Schubweite zu. Neben schräg zugeschnittenen transportierten Sedimentstreifen gibt es in den Deckengebirgen in der Mehrzahl der Fälle Zuschnitte, die gerade entlang der offenbar mobileren Ränder der Teilgeosynklinalen eines Orogens erfolgt sind, wie in den Ostalpen etwa an Beispielen der zentralalpinen Teilfaziesbereiche ersichtlich ist.

3. Ungestörte Primärverbände von materialverschiedenen Teilfazies in den Kalkalpen (z. B. Erhaltung der Verzahnung von Riff- und Beckenfazies u. a.) sprächen gegen weite Transportwege (H. G. WUNDERLICH, 1964, S. 35).

Es können nicht nur aus den Kalkalpen, sondern aus allen Deckengebirgen mit Faziesdifferenzierungen Beispiele für Vielfaziesdecken erbracht werden. Daß Faziesverzahnungen beim Deckentransport vielfach unzerstört mittransportiert werden können, ist belegbare Tatsache.

4. „Gegen eine weite Verfrachtung der nördlichen Kalkalpen sprechen auch die engen Beziehungen zwischen den einzelnen Teiltrögen seit der Unterkreide“ (W. ZEIL, 1959, S. 97; ähnlich S. 81). Dabei sind die erst in jüngster Zeit auch in den östlichen Kalkvorlpen streckenweise ohne Unterbrechung durchlaufenden unter- bis mittelkretazischen Serien (H. KOLLMANN, 1968, S. 135; J. LÖCSEI, 1970, S. 99) für diese Fragen von besonderem Interesse.

Die Antwort hierauf hat zuletzt H. G. WUNDERLICH (1964, S. 42) gegeben, in dem er desnäheren ausführt, daß Sedimentation und tektonische Bewegung einander nicht ausschließen, sondern nebeneinander vor sich gehen können.

5. Das Fehlen eines inneren Deckenbaues der westlichen Kalkalpen, das in neuerer Zeit mehrfach angenommen worden war, wird zwar von den meisten Autoren als nicht beweisend für eine Autochthonie der Gesamtkalkalpen angegeben, aber doch als Verdachtsmoment fast regelmäßig herangezogen. Ein interner Deckenbau würde jedenfalls eher auf bedeutende Transversaltektonik hinweisen (E. KRAUS, 1962, S. 749).

Hierzu darf zunächst nicht vergessen werden, daß nach dem Ferntransport durch weitere Einengungen in jüngeren Phasen — durch Interferieren von Jungsedimenten mit Tektonik altersmäßig erfaßbar — ohne weiteres auch ortsgebundene, „neoautochthone“ Strukturen entstehen konnten. Wesentlich aber ist, daß die Revision aller für die Existenz des Deckenbaues angeblich kritischen Stellen der Westkalkalpen durch den Verfasser den Deckenbau dort auf Grund neuer Beobachtungen besser als in der klassischen Zeit belegt hat (A. TOLLMANN, 1970), so daß dieser Einwand auch hierdurch hinfällig geworden ist.

6. Bestimmte Details von Faziesstudien in Kalkalpen und Drauzug sollen gegen einen Fernschub über das Tauernfenster sprechen. Im Zusammenhang mit dem in jüngster Zeit in den westlichen Ostalpen einsetzenden detaillierten Studium der alpinen Trias mit stratigraphischen Feinmethoden, besonders durch deutsche Geologen, wird gerne am Schluß von mehr weniger lokalen Untersuchungen ein Übersichts-kapitel über den Aussagewert der Fazies-änderung in der untersuchten Stufe bei Extrapolation in benachbarte und entfernte ostalpine Regionen angehängt. In einer im einzelnen wechselnden Weise ergeben solche Schlußfolgerungen in diesen Arbeiten dann fast stets den Hinweis, daß die Existenz eines penninischen, von höheren Einheiten fernüberschobenen Tauernfensters, eines fernüberschobenen Unter- und Mittelostalpin oder die Ableitung der Nordkalkalpen vom Drauzug im Gegensatz zu dem faziellen Befund stehe, der sich aus dem untersuchten Schichtglied oder der analysierten Lokalität ergäbe. Bei detritischen Horizonten wird meist ein Abtragungsgebiet zwischen Kalkalpen und Drauzug gelegt, wobei das heutige zentralalpine Gebiet mehr oder weniger deutlich als Lieferraum angesprochen wird. Dieses galt ja früher als Bereich lückenhafter Triassedimentation.

Daß diese Auffassung aber inzwischen durch den Nachweis lückenloser Triassedimentation in Pennin, Unterostalpin und Mittelostalpin widerlegt ist (vgl. Säulenprofiltafeln und Text bei A. TOLLMANN, 1963b), hätte hierbei berücksichtigt werden müssen. Die Extrapolationen überschreiten in diesen, meist eine Stufe oder einen Horizont eines beschränkten Bereiches betreffenden Arbeiten weit das tragfähige Fundament. Oft aber liefern diese Arbeiten andererseits gerade wesentliche neue Hinweise auf die spezifischen Gemeinsamkeiten bestimmter Niveaus der Nordtiroler Fazies und des Drauzuges (jüngst O. KRAUS, 1969, S. 87).

7. Das Fehlen einer Wurzelzone im westlichen Drittel der Nord-Südalpen-Grenze entlang der Kalkalpen-Heimatregion (K. POLL, 1967, S. 1089).

Im Bereich der nord-südalpinen Narbenzone ist zufolge vieler Merkmale — nicht zuletzt dem faziellen Gegensatz zwischen Paläozoikum und Mesozoikum beiderseits der Linie — die Annahme von Verschluckungen von bedeutenden Teilen der Kruste unerlässlich, auch wenn das Hauptschweredefizit im Untergrund heute nach N verschoben ist (Tauern, Ötztaler Alpen usw. — vgl. z. B. H. CLOSS, 1964, S. 640 f., Abb. 10). Inwieweit demnach dort Schollen der Wurzelzone erhalten bleiben können, ist nicht vorherzusagen. Es gibt zahlreiche Beispiele im mesogäischen Gebirgssystem, wo die Wurzelzonen von nachweisbaren Ferndecken nicht mehr vorhanden sind (z. B. von N kommende Tibetanische Klippen des Himalaya) oder eingebrochen unter dem Meeresspiegel verschwanden, so daß auch kein Platz zur Einwurzelung aller Ferndecken bleibt (z. B. Apennin).

7a. Die Deutung von H. G. WUNDERLICH (1966, S. 138; 1967, S. 54), der die Kalkalpen halb fernüberschoben (W) und halb parautochthon (E) aus einem schräg innerhalb des Pennin zwischen den Bündnerschiefern des Engadiner und des Tauernfensters eingefügt gedachten Trog ableitet, im E also N der Tauern beheimatet denkt, vereint die Nachteile beider konträrer Denkrichtungen miteinander und steht außerdem im Gegensatz zu allen faziellen Anknüpfungs-

punkten der Trias und Nachtrias. W. DEL-NEGRO (1969, S. 13 f.) hat zu dieser Auffassung ausführlich Stellung genommen.

B. Belege für den Fernschub

1. Faziell eigenständiges außeralpines Mesozoikum im autochthonen Untergrund des Alpenvorlandes. Wo Mesozoikum im Untergrund des Molasse-Flysch-Vorlandes vor der Stirn der Kalkalpen erhalten und bekannt geworden ist, liegt es in außeralpiner, germanischer Fazies (W) oder in sehr spezieller Randtrogfazies (Laaer Fazies des E) vor (A. TOLLMANN, 1963 a, S. 43—49; R. JANOSCHEK, 1969, S. 94 usw.) und erweist die ortsfremde Herkunft des kalkalpinen Stockwerkes darüber.

2. Enorm weite Unterteufung der höheren alpinen Einheiten durch die Molasse. Dies geht besonders aus Bohrungen im Ostteil der Alpen in Fenstern, die schon S der Molassezone liegen, hervor. Es seien die beiden Bohrungen Texing in der niederösterreichischen Flyschzone (F. BRIX & K. GÖTZINGER, 1964, S. 72) und Urmannsau in den niederösterreichischen Kalkalpen (A. KRÖLL & G. WESSELY, 1967, S. 348 f.) angeführt. In beiden bot sich in bezug auf die Molasse das gleiche Bild: Nach Durchörterung von (Kalkalpen), Flysch und Helvetikum gelangte man zunächst in alttertiäre, aus der Tiefe des Molassebeckens im S als Schürflinge aufgeschleppte, maximal Unteroligozän bis Obereoazän umfassende Molasseserien, während das Alter der dem Böhmischem Kristallin darunter autochthon aufliegenden Molasse jeweils jünger war: Chatt bis Aquitan (Urmannsau) bzw. Burdigal (Texing). Das besagt aber nicht nur, daß die Molasse in der Bohrung Urmannsau noch 15 km S des Stirnrandes der die Kalkalpen tragenden Flyschdecke vorhanden ist, sondern vor allem, daß dort noch immer nicht die erst wesentlich weiter im S unter den Kalkalpen zu erwartende Trogtiefe der Molasse erreicht ist, aus der die Schürflinge bis in das Texinger Schürflingsfenster der Flyschzone vorgeschleppt worden sind. Auf eine mindestens 15 km weite Abwicklung der bayrischen Molassezone nach S hat P. SCHMIDT-THOMÉ (1964, S. 293) verwiesen.

3. Enorm weite Unterteufung der Kalkalpen durch die Flyschdecken, die ihrerseits auf Helvetikum fernüberschoben sind. Bei Abwicklung des heute vor der Kalkalpenstirn liegenden Flysches gegen S hinter das in Fenstern unter dem Flysch sichtbare Helvetikum s.l. (Buntmergelserie und Grestener Jura-Unterkreide im E) ergeben sich große Beträge, um die automatisch die im S anschließenden Kalkalpen mit zurückgenommen werden müssen. Das hat für die Mittelregion der Kalkalpen im Raum Salzburg mit Recht wiederholt W. DEL-NEGRO betont (z. B. 1958, S. 89; 1962, S. 6). Daß dieser Flysch weit unter die Kalkalpen hineinzieht, kann man im Ostteil der Ostalpen an den schräg unter den Kalkalpen verschwindenden Teileinheiten der Flyschzone erkennen, worauf seit L. KOBER wiederholt aufmerksam gemacht worden ist (zuletzt S. PREY, 1960, S. 207).

In bezug auf den bayrischen Abschnitt hat P. SCHMIDT-THOMÉ (1964, S. 293) festgestellt, daß bei Berücksichtigung der Faltung, Überdeckung und der einst

nötigen Schwellen zwischen den Teilbecken von Flysch, Helvetikum und Molasse „eine relative Zurückverlegung des Kalkalpen-Nordrandes um 70—80 km nach Süden wohl einen Minimalbetrag bedeutet. Immerhin läge diese Nordgrenze im Bereich des Tauern-Zentralkammes“. Bei Einbeziehung der im folgenden Punkt angeführten Fenster in den östlichen Kalkalpen ergeben sich aber noch größere Beträge.

4. Helvetikums- und Flyschfenster als direkter Beweis für die weiträumige fremde Unterlagerung der Kalkalpen. Immer weitere Flysch- und Helvetikumsfenster wurden in den letzten Jahren im Inneren der Kalkalpen entdeckt oder durch exakte Methoden gesichert. Sie reichen mit dem von R. BRINKMANN bereits 1936 (S. 438—442) erkannten und heute in allen Einzelheiten gesicherten Flyschfenster von Windischgarsten (S. PREY et al., 1959, S. 201 ff.) bis 25 km weit ins Kalkalpen-Innere, nur mehr 15 km vom Kalkalpen-Südrand entfernt. Von den zahlreichen anderen Flyschfenstern innerhalb der Kalkalpen verdient noch die Fenstergruppe von St. Gilgen und Strobl am Wolfgangsee hervorgehoben zu werden, die B. PLÖCHINGER entdeckt und 1964 ausführlich beschrieben hat. Auf einer Strecke von 13 km vom Kalkalpen-Nordrand nach S sind hier nicht nur Flyschfenster vorhanden, sondern es tritt auch noch das nächsttiefere tektonische Stockwerk, das Helvetikum s. l., mehrfach in Schürflingsfenstern auf, so daß der Betrag der bei einer Abwicklung nötigen Zurücknahme der Kalkalpen durch all diese Fenster noch wesentlich höhere Beträge erreicht, als W. DEL-NEGRO (s. o.) ursprünglich auf Grund der Deckenverhältnisse im Kalkalpen-Vorland berechnet hat. Diese früher ja teils nicht bekannten, teils nicht geglaubten Fenster entziehen der alten Auffassung der relativen Autochthonie der Kalkalpen allein schon unwiderruflich den Boden. Direkt sichtbar wird die Flyschunterlage der Kalkalpen schließlich beim westlichen Enden des Gesteinskörpers vom Allgäu bis zum Rhätikon, wo trotz der „Allgäuwendung“ die einzelnen inneren Baueinheiten der Kalkalpen schräg oder quer zu der Westgrenze ausstreichen. Auch diese eindrucksvolle Tatsache darf nicht übersehen werden. Dieses Enden über Flysch und Arosa Schürflingen im Westen war ja schließlich Hauptausgangspunkt für die Erkenntnis des Fernschubes des Ostalpin als Ganzes gewesen (M. LUGEON, 1896, S. 39 f.; 1901, S. 800 f.; G. STEINMANN, 1898, S. 258).

5. Schürflingsfenster und Schürflinge der Frankenfesler Fazieszone (E) und Arosazone (W) im Inneren der Kalkalpen. Außer den Fenstern und Schürflingsfenstern des „relativ autochthonen“ Untergrundes, also der Helvetikums- und Flyschdecke, sind gleichermaßen die beiden anderen Schürflingsfenstertypen für den Fernschub der Kalkalpen beweisend:

a) Im Westen treten vom Rhätikon bis über Hindelang hinaus Schollen am Westrand der Kalkalpen und an inneren Störungen (Klesenzafenster usw.) auf, die sich durch charakteristische Gesteinstypen als Abkömmlinge der Arosazone der Zentralalpen zu erkennen geben, ein Phänomen, das seit Beginn des Jahrhunderts in seiner ganzen Ausdehnung und Bedeutung erkannt worden war. Der Ferntransport über die zentralalpiner Einheiten hinweg wird durch diese Späne mit Sicherheit erwiesen, die Auffassung von E. KRAUS (der selbst die Arosa-Natur

der Schürflinge anerkennt) betreffs der Ableitung der Kalkalpen von einer Region N einer die Zentralalpen im N begleitenden Verschlusszone mit Gewißheit hinfällig.

b) Der zweite Schürflingsteppich liegt im Osten und ist zuletzt von G. HERTWECK (1961, S. 69 ff.) nach Ausmaß und Bedeutung zusammenfassend bearbeitet worden. Es handelt sich hierbei um Serien der kalkalpinen Randzone in Frankenfeser Fazies mit bezeichnenden Schichtgliedern, die während des Hauptfernschubes der Kalkalpen durch rabotage basale abgerissen und als Reibungsteppich auf der Unterlage liegen geblieben, dann aber bei den weiteren Nachbewegungen an internen Decken- und Schuppengrenzen hochgeschleppt worden waren. Sie finden sich an sechs hintereinander liegenden tektonischen Linien eingeschleppt. Das gleiche Phänomen ist jüngst von B. PLÖCHINGER & S. PREY, 1968, S. 190 f.) aus dem Bereich der Hengst-Störungszone N der Gesäuseberge beschrieben worden, wo neben dem seit G. GEYER bekannten bajuvarischen Schürfling des Gunstberges bei Windischgarsten noch weiter im Inneren der Kalkalpen cenomanreiche Schürflinge der Frankenfeser Fazies gefunden worden sind, die eine Allochthonie der Kalkalpen bis 33 km von Norden her, das ist in fast $\frac{3}{4}$ der gesamten Breite, beweisen.

Die Meinung von G. WESSELY (1967, S. 45—48), daß der Schürfling von Groisbach aus der Frankenfeser Schürflingsgruppe ganz im E als pienidisches Element aus der Kalkalpen-Unterlage aufgefaßt werden kann, stellt nur eine der beiden Möglichkeiten in Rechnung: Das von G. WESSELY (S. 46—47) als wesentlich angeführte Argument, daß die Quarzite und Quarzkonglomerate in Begleitung der Liasschürflinge nicht als basale Glieder der Werfener Schichten der nächsthöheren Einheit im Sinne von G. HERTWECK, sondern als obertriasches nichtkalkalpines Keuperglied des pienidischen Untergrundes anzusehen seien, ist insoferne nicht stichhältig, da gerade Quarzite und auch Quarzkonglomerate dieser Art an der Basis der höheren voralpinen Überschiebungsdecken noch unterhalb der Werfener Schiefer stellenweise vorhanden sind: Im Ostrahmen des Annaberger Fensters z. B. erreichen die Komponenten der Werfener Quarzkonglomerate bis über Faustgröße (vom Verfasser gesammeltes Belegmaterial im Geologischen Institut Wien aufbewahrt). In bezug auf unsere Fragestellung würde natürlich die Ableitung der Quarzite und Quarzkonglomerate aus einem pienidischen Untergrund nichts ändern, sondern die Allochthonie der Kalkalpen noch mehr betonen.

6. Die Abwicklung der kalkalpinen Decken, die zufolge ihrer Internstruktur mit primären nordvergenten Stirnen und nordvergent überkippten Falten gegen S erfolgen muß, ergibt ähnlich wie die Abwicklung des Untergrundes (und besonders im Verein mit letzterem) enorme Beträge der Rücknahme der Sedimentdecken über heutiges zentralalpines Gebiet. Die enge Falten tektonik des Frankenfeser-Ternberg-Allgäuer Deckensystems, die generelle Überschiebung des Tiefbajuvarikums durch Hochbajuvarikum (Lechtal-Reichraminger-Lunzer Deckensystem), die abschnittsweise nicht unbedeutende interne Deckenbildung im Tirolikum und die in ihrer Gesamtheit aus dem Raum S des Kalkalpensüdrandes stammenden hochalpinen Decken (vgl. A. TOLLMANN,

1967; 1969) bezeugen eine ursprünglich wesentlich größere Ausdehnung der Kalkalpen nach S über zentralalpine Regionen. Der mit neuen Daten durch den Verfasser (1970) belegte Deckenbau der westlichen Kalkalpen spricht im gleichen Sinn für große Überschiebungs- und Abwicklungsbeträge.

7. Die geophysikalische (seismische) Erfassung der in der Tiefe gegen S auf flach drehenden kalkalpinen Untergrenze. Während die seismischen Messungen im Osten bei überwiegend flachem Einsetzen der Kalkalpenstirn erwartungsgemäß ein flaches Unterteufen gegen S anzeigen (vgl. z. B. A. KRÖLL & G. WESSELY, 1967, Taf. 1, Prof.), ist die geophysikalische Untersuchung des Alpenrandes in Bayern von besonderem Interesse, da hier ja die Versteilung der Kalkalpenfront einen der Hauptgründe für autochthone Vorstellungen geliefert hat. Die seismischen Untersuchungen des Alpenrandes in Oberbayern (E. VEIT, 1963, Abb. 9, 10, 14, 15, 16 und S. 50 f.) ergaben — wie aus anderen Vergleichsdaten schon zu erwarten war — ein Flachlegen der steilen Frontflächen der einzelnen Deckensysteme von Helvetikum, Flysch und Kalkalpen gegen S, gegen das Alpeninnere hin.

8. Die Tiefbohrung Urmannsau, die ja in dem von L. KOBER (1923, S. 171) in den niederösterreichischen Kalkvoralpen E Gaming entdeckten Fenster von Urmannsau 7,5 km S der Nordfront der Kalkalpen und 15 km S der Flysch-Nordgrenze bis zur Tiefe von 3033 m abgeteuft worden ist, hat schließlich den direkten Beweis für den Fernschub erbracht. In voller Übereinstimmung mit den Vorstellungen der Deckenlehre wurde unter den tieferen kalkalpinen Decken Flysch, Helvetikum, verfrachtete und autochthone Molasse über dem Böhmischem Kristallin angetroffen. A. KRÖLL & G. WESSELY (1967, S. 342 ff.) berichteten über die Bohrdaten und deren weittragende tektonische Bedeutung. Auf die Aussagekraft der bereits zuvor in den nördlichen Randeinheiten der östlichen Alpen einschließlich der Flyschzone in Österreich durchgeführten Bohrungen, die sämtliche eine flache Fortsetzung aller tektonischen Randeinheiten im südlich anschließenden Untergrund erbracht haben, braucht nach Urmannsau nicht mehr eingegangen zu werden (vgl. auch H. KÜPPER, 1968, S. 65 f.).

9. Die Nichtexistenz einer Saugnarbe im Sinne von E. KRAUS unter dem Kalkalpen-Südrand wurde durch die in zahlreichen neueren seismischen Untersuchungen erfaßte Untergrenzfläche der Sedimentmassen im Nordabschnitt der Alpen über dem kristallinen Unterbau erwiesen. H. REICH (1960, S. 472) hatte bereits gezeigt, daß die etwa 5 km tief gelegene Grundgebirgs-Oberfläche unter den Kalkalpen und übrigen Randeinheiten in Bayern keinen Abfall gegen S hin anzeigt. Sie steigt hingegen (P. GIESE, 1965, S. 282; C. PRODEHL, 1965, S. 66, S. 73) gegen S wiederum an, bis sie in den Zentralalpen S des Inn- und Längstaales wieder an die Oberfläche gelangt. Diese geophysikalischen Ergebnisse sind als Bestätigung des geologischen Befundes zu werten (s. u.), daß die Kalkalpen als Teil des Oberostalpin weiter von S kommen und nicht etwa durch einen absteigenden Untergrundstrom unter dem Südrand im Bereich des Inntales im Sinne von E. KRAUS gegen N ausgeschuppt sind. Während man ja in den westlichen Kalkalpen im Blickfeld des Münchner Arbeitskreises durch die — allerdings sekundäre — Steilstellung und Überkipfung des Kalkalpensüdrandes

auf die Vorstellung einer nördlichen Verschluckungszone als Motor für den Kalkalpentransport kommen könnte, sprechen die Verhältnisse im Osten bereits klar dagegen, da dort das zentralalpine Kristallin mit lokal eigenem Mesozoikum und die Grauwackenzone auf weiten Strecken flach die Kalkalpen unterteufen. Ebenso aber ist das Nichtvorhandensein einer „Saugnarbe“ ganz im W, wo die Kalkalpen vom Rhätikon an gegen Norden hin flach über den tieferen tektonischen Einheiten auflagern, direkt nachweisbar, wie wiederholt betont worden ist (vgl. etwa M. RICHTER, 1956, S. 202). Daß andererseits im Nordbereich der Alpen im Untergrund der Kalkalpen die Sockel von Helvetikum und Flysch abgepreßt und verschluckt sind, ist ein anderes, tiefere Stockwerke betreffendes Phänomen, das hier nicht zur Diskussion steht.

10. Die nordvergenten groß- und kleintektonischen Strukturen im Bereich der Zentralalpen, des Tauernfenster-Nordrandes usw. sind der nächste Beweis für die generell nordvergente Transporttektonik der zum oberostalpinen Stockwerk gehörigen Nordkalkalpen. Sie kommen ja nach Abwicklung von Unterlage und Innenbau ohne Existenz einer Saugnarbe (die auch durch die Verhältnisse am Westende der Kalkalpen im Rhätikon-Untergrund klar widerlegt wird) extrem weit nach S zu liegen. Wäre im Sinne der alten Auffassung relativer Autochthonie eine solche Nordnarbe vorhanden, so müßte, wie E. KRAUS konsequenterweise stets zeichnete und aussprach (z. B. 1936, Taf. 4, Prof. 7), der Nordrahmen und Nordteil des Tauernfensters südlich dieser Narbe südvergent bewegt, zugeschoben und gefaltet sein. Das Gegenteil ist der Fall, wie all die neuen Untersuchungen der Achsenpläne, der Faltenvergenzen usw., an deren Aufnahme ich im Gebiet der Radstädter Tauern beteiligt war, zeigen. Eine Linie im Kristallinrahmen beiderseits des Tauernfensters, an der sich von N und S das Tauernfenster beiderseits zuschiebende Falten oder Platten treffen müßten, ist nicht vorhanden, wie L. KOBER seit je gegenüber E. KRAUS betont hat. Das Tauernfenster wird heute (vgl. hierzu A. TOLLMANN, 1962, S. 228 ff.) von allen österreichischen Bearbeitern auf Grund der zahlreichen neuen Strukturuntersuchungen sowie der Erfassung der Detailstratigraphie und des Alters der Schieferhülle in Bündner Fazies anerkannt (einzige Ausnahme: A. THURNER, der, wie er 1969, S. 620 sagt, die alten — allerdings bereits anachronistischen — Einwände wieder aufgreift, dabei aber die wesentlichen Neuergebnisse der Gefügeuntersuchungen bis zu den Spezialarbeiten von W. SCHWAN, 1965, S. 495 ff., einfach weggelassen hat). Die generelle primär nordvergente Formung des Zentralalpenkörpers, verbunden mit einer stets vorhandenen und gegen die Tiefe zunehmenden dynamometamorphem Umgestaltung ist aber nur durch das Darüberhinweggehen einer großen Überschiebungsmasse, eben des Oberostalpin, zu verstehen.

11. Die Existenz der „nordalpinen Fazies“ in den Nordkalkalpen, ferner in einer Reihe von Schollen, die über den tieferen zentralalpinen Einheiten liegen geblieben sind und im Drauzug und Nordkarawanken-Anteil ist für unsere Frage ebenfalls wesentlich. Da auf diese Beziehungen in der „Ostalpensynthese“ vom Verfasser (1963 b, S. 171 ff. und Taf. 9—10) und 1965 (S. 123—128) schon eingegangen worden ist, kann hier darauf verwiesen werden. An wesentlichen

Neuerkenntnissen aus diesem Fragenkreis soll hervorgehoben werden, daß einerseits die bisher (N. ANDERLE 1950, S. 213) als Dachsteinkalk gedeuteten Dobratschkalke, die von mir zu einer engeren Bindung des Faziesvergleiches mit der Dachsteinkalkfazies der Kalkhochalpen verwendet worden waren, wegfallen, da sie sich nach O. KRAUS & E. OTT (1968, S. 263 ff.) als Ladin erwiesen haben, andererseits aber sei erwähnt, daß bei einem Vergleich der Raibler Schichten „verblüffend enge Beziehungen... zwischen den Lienzer Dolomiten und dem... Südrand der Klostertaler Alpen (westliche Lechtaler Alpen) erkennbar“ sind (O. KRAUS 1969, S. 135). Schließlich aber hat die sich stets mehrende Kenntnis über die in den gesamten Kalkalpen verbreiteten Tuffe und Tuffite des anisisch-ladinischen Grenzniveaus die Bindung zum Drauzug und zu Südalpen über das nur tektonisch zwischengeschaltete tufffreie Gebiet der mittleren Zentralalpen (Tauern, Unter- und Mittelostalpin) hinweg enger gestaltet (vgl. Zusammenstellung bei A. TOLLMANN 1965, S. 127 f. und zahlreiche neuere Arbeiten). Die Faziesgegensätze zwischen „nordalpin“ und „zentralalpin“ (in faziellm Sinn) in Trias und besonders im Jura sind eindeutig.

12. Der Faunencharakter zentralalpiner mesozoischer Serien mit manchen außeralpinen Elementen (Semmering), die in den inneren Teilen der Geosynklinale — also im nordalpinen Faziesraum — nicht mehr erscheinen und dort den mediterranen Elementen Platz machen, gibt mit einem Hinweis auf deren ursprünglich randlichere, nördlichere Position. Ganz ähnlich läßt sich ja in lithofazieller Hinsicht in den Ostalpen (vom lateral beeinflussten Westrandgebiet abgesehen) bei der sich aus tektonischen Argumenten ergebenden Abwicklung und Einreihung der Kalkalpen als Nordteil des Oberostalpin im Süden und hinter dem mittel-, unterostalpinen und penninischen Streifen ein klarer Gradient von innen nach außen in Bezug auf Mächtigkeit und Ausbildung zahlreicher Trias- und Jura-Schichtglieder erkennen: Von den kalkigen, Ammoniten-führenden Werfener Schichten z. B. im S angefangen über Werfener Schiefer, über Buntsandstein-Entwicklung in der zentralalpiner Fazies zum Fehlen des Horizontes im Grestener Randbereich; vom Wettersteinkalk zum Wettersteindolomit (ersterer nie in zentralalpiner Fazies); vom Dachsteinkalk über Hauptdolomit zum Keuper; vom Adneter- und Hierlatzkalk bis zu den Dolomitsandschiefern der zentralalpiner Fazies usf. Auch die Gesamtmächtigkeitswerte der Trias ergeben in dieser Abwicklungsfolge eine entsprechende Reihe (W. DEL-NEGRO 1969, S. 15).

Zur Frage „Faziesvergleich“ erscheinen aber einige allgemeine Anmerkungen angebracht. Naturgemäß hat jedes fazielle Kombinieren nur als ein mehr oder weniger gewichtiger „Hinweis“ gegenüber dem bei sichtbarer tektonischer Überlagerung und Vergenzzrichtung ablesbaren „Beweis“ sekundäre Bedeutung. Bisher wurde häufig von Verfechtern autochthoner Vorstellungen gegen faziell-vergleichendes Arbeiten eingewendet, daß sich fazielle Änderungen rasch, wiederholt und allenthalben vollziehen könnten und daher diese vergleichende Methode für Parallelisierungen getrennter Schollen ungeeignet sei. Diese Meinung ist dann ungerechtfertigt, wenn die Faziesvergleiche auf breiter Basis, ganze Schichtreihen umfassend, mit weitreichendem Gesichtsfeld und unter sorgfältiger Abwägung

der faziellen Wertigkeit jedes einzelnen Merkmales durchgeführt werden und das Ergebnis schließlich nur als ein der Vielzahl der Einzelfaktoren entsprechend wertiges Indiz betrachtet wird. Heute ist die paradoxe Situation eingetreten, daß sich manche autochthone Hypothese nicht mehr auf tektonische Gegebenheiten berufen kann, sondern sich auf einige wenige fazielle Merkmale stützt, um tektonische Einheiten zu beheimaten (Musterbeispiel: Inntaldecke, die nach neueren Untersuchungen allenthalben — Puitental, Westrand usf. — von einer durchlaufenden tektonischen Linie begrenzt ist und nach manchen Autoren nur mehr auf fazieller Basis lokal eingewurzelt werden soll).

13. Eine Bestätigung der Auffassung von der primären internen Lagerung der Nordkalkalpen im Gesamtorogen ergibt sich ferner aus der Weiterverfolgung der Haupteinheiten der Ostalpen in den Westkarpaten, da dort die Choč-Decke, die nach Meinung aller Autoren zufolge ihrer klaren kalkvoralpinen Fazies eine kalkalpine Fortsetzung gegen E bildet, über den tieferen zentralkarpatischen Decken nicht so weit vorgeschoben ist und daher noch auf (Klippen) und südlich der Križna-Decke (Fortsetzung des Unterostalpin nach Auffassung des Autors) und dem Hochatrikum der Zentralkarpaten lagert. Auch die Hallstätter Zone samt Nachbarregion ist noch am Innenrand der Ostfortsetzung des Nordstammes (Gemeriden) erhalten geblieben.

Überblickt man die lange Reihe der Beweise, die nur zum geringeren Teil indirekt, zum guten Teil aber (Fenster, Bohrungen, Schürflingsteppich etc.) in direkt überschaubarer Form vorliegen, so könnte man glauben, daß die aus der Zeit vor der Deckenlehre stammende Vorstellung von der Autochthonie der Kalkalpen heute nicht mehr diskutiert werden müßte. Daß dies dennoch notwendig ist, zeigt aber doch eine ganze Reihe von Artikeln verschiedener deutscher Autoren auch aus neuerer Zeit, die in den den Fernschub beweisenden Fakten Hypothesen erblicken, von denen sie wännen, „daß diese nichts anderes darstellen als mehr oder weniger kühne gedankliche Kombinationen, für die einigermaßen sachliche und nachprüfbare Unterlagen vorläufig fehlen“ (W. ZEIL 1959, S. 97). Sicherlich stammen etliche der oben angeführten sichtbaren Gegebenheiten, die beileibe nicht in das Bereich der Hypothesen gehören, sondern z. T. die konkrete Basis der Arbeit von sehr rational denkenden Erdölgeologen bilden, aus allerjüngster Zeit. Aber es war auch schon davor eine solide Basis für die Deutung der Stellung der Kalkalpen vorhanden, die durch die neuen Ergebnisse eben nur gestärkt worden ist. Eine einigermaßen fundierte Stellungnahme zur Frage der Herkunft der Kalkalpen kann heute an keinem der 13 angeführten Hauptfakten vorbeigehen. Eine Umdeutung des Aussagewertes jedes einzelnen Punktes dieses ganzen, miteinander ja verbundenen Komplexes ist aber heute nicht mehr möglich.

Die Bedeutung der Arosa-Schürflingszone am Westrand der Kalkalpen

Um die Stellung und Entstehung der im folgenden beschriebenen kalkalpinen Schollenreihe im Ostprättigau (Madrisa-Schollenzone, s. u.) zu verstehen, ist es nötig, zunächst einige Bemerkungen über den Transport der Kalkalpen über ihre

vorübergehende tektonische Unterlage, die Arosazone, vorauszuschicken. Das Phänomen des Arosa-Schürflingsteppichs unter dem Westrand der Kalkalpen ist ja schon relativ lange bekannt.

In historischer Hinsicht gebührt M. LUGEON das Verdienst, zunächst die Bedeutung der die Kalkalpen im W unterlagernden Schollenzone mit den auffälligen basischen Eruptiva als Reibungsteppich an einer Überschiebungsfäche erahnt zu haben (1896, S. 39 f.), indem er zu der Störung im Allgäu bemerkt: „Or, cet accident n'est pas dû à une faille verticale, mais à une vraie ligne de chevauchement.“ Zwei Jahre später spricht G. STEINMANN (1898, S. 258) nach Besuch der Diabase und Diabasporphyrite von Oberstdorf, daß diese gleich wie jene in Bünden an der Überschiebungsfäche über dem Flysch lägen und zeichnet schon die große Überschiebungsmasse des Ostalpin in den Zentral- und Kalkalpen, fünf Jahre vor P. TERMIER. Gleichermassen konnte M. LUGEON (1901, S. 800 f.) besonders auch auf Grund der Arosa Schürflinge im Allgäu den Fernschub der ostalpinen Deckenmasse klarstellen. G. STEINMANN (1906, S. 37—39) hebt die Bedeutung dieser Schollenzone dadurch besonders hervor, daß er die basischen Eruptiva mit den Radiolariten und begleitenden Gesteinen vom Unterengadin bis Oberstdorf und hart an den Nordrand der Alpen zu seiner „Rhätischen Decke“ zusammenfaßt, die in diesem Abschnitt der „Arosazone“ des heutigen Sprachgebrauches in Anlehnung an J. CADISCH (1919) entspricht. Auch der Lokalname „Retterschwangerdecke“, den H. P. CORNELIUS (1922, S. 37) provisorisch für den an Kristallinschollen reichen Abschnitt im Retterschwangertal SSW Hindelang gegeben hat, bezieht sich auf ein Teilstück dieser verschleppten Arosazone. Einen Überblick über die folgenden Forschungen betreffs der Arosa-Schollen gibt J. WESTRUP (1967, S. 45). In neuerer Zeit haben sich M. RICHTER (1968, S. 317—319) und besonders D. RICHTER (1956; 1957 a; 1957 b; 1963) mit den Arosa Schürflingen näher befaßt.

Im Zuge der Autochthonisierung der Kalkalpen in einer Reihe neuerer deutscher Arbeiten wurden auch Elemente der Arosazone, die die Kalkalpen am Westrand unterlagern oder in Fenstern auftauchen, als zum Oberostalpin dazugehörige, eingefaltete Serien umgedeutet. So hatte z. B. R. HUCKRIEDE (1958, S. 237) die der Arosazone angehörige splitführende Kreide des Klesenzafensters 8 km N Dalaas als eingeklemmte kalkalpine Kreide bezeichnet. M. SCHIDLOWSKI (1960, S. 468) hat nach neuerlicher Untersuchung hierzu bereits Stellung genommen: „Die am Klesenzajoch vorliegende Serie umfaßt Radiolarite, Aptychenkalke und eine Folge von Kreideschiefern, die als charakteristische Einschaltungen grüne Ölquarzite und insgesamt 10 Vorkommen basischer Magmatite enthält. Bei diesem Sachverhalt kann über ihre Zugehörigkeit zum unterostalpinen Faziesbereich (Arosar Zone) kein Zweifel bestehen.“

In gleicher Richtung wie R. HUCKRIEDES Arbeit bewegte sich die jüngst von V. JACOBSHAGEN & O. OTTE (1968, S. 97 ff.) publizierte Meinung, daß die Mittelkreide der kalkalpinen Randcenomanserie („Randostalpin“) allmählich in die Kreide der Arosazone übergehe und daß die Überschiebung des Oberostalpin über die Arosazone von W nach E abnehme und im Ostallgäu erloschen sei. Eine solche Annahme kann nur auf ein vollkommenes Mißverständnis bzw. Miß-

achtung der tektonischen Gesamtsituation am Kalkalpen-Westrand zurückgehen. Natürlich wird man allerdings dann Übergänge zwischen den Zonen sehen, wenn man kalkalpine Elemente — wie z. B. den Inhalt des Hintersteiner Fensters u. a. — zur Arosazone stellt (V. JACOBSHAGEN & O. OTTE 1968, Abb. 1, S. 98) und dann eben in dieser „Arosazone“ kalkalpine Serien antrifft.

Hier mag wohl auch mitspielen, daß schon in der Fassung, die D. RICHTER der Arosazone in seinen Arbeiten gegeben hat, eine ganze Reihe kalkalpiner Schollen und Schuppen dazugeschlagen worden waren, u. zw. von der Madrisa-Schollenzone im Prättigau (s. u.) angefangen (1957, S. 307) bis zu tieferen Teilschuppen der Allgäudecke im Allgäu selbst (1954, S. 391; 1957, S. 325 ff., 364: Jochschrofenschuppe u. a.). Dadurch kam es gegenüber der wesentlich klarer gefaßten Arosazone in den klassischen Arbeiten (seit G. STEINMANN) in dieser neueren Auslegung zu einer als einheitlich zusammengestellten Schichtfolge, deren Bestand aber Heterogenes umfaßt (D. RICHTER 1957, Taf. S. 290 *usf.*). Wir finden dort als Bestandteil der Arosazone Glieder vom Hauptdolomit über Schattwalder Schichten, Kössener Schichten u. a. bis zum kalkalpinen Cenoman. Daher hatte auch schon D. RICHTER (1957, S. 364) in der zur Arosazone gerechneten Jochschrofenschuppe der Allgäudecke einen „Übergang“ gesehen: „Sie vermittelt ihrer fast oberostalpinen Fazies nach zwischen der Arosazone und der oberostalpinen Decke... Im größeren Rahmen ist dann die auffallende Ähnlichkeit der Arosazone mit der oberostalpinen Decke der Nördlichen Kalkalpen zu nennen.“

Hier muß eine genaue und von den klassischen Regionen der Arosazone einerseits, der Cenoman-Randschuppe des Tiefbajuvarikums andererseits ausgehende Neuuntersuchung zunächst den sicheren Bestand dieser Zonen abgrenzen und vergleichen, namentlich die lithologisch ähnliche mittelkretazische Serie durch schwermineralogisch und feinstratigraphisch unterbaute spezifische Erfassung trennen. Trotz dieser noch ausständigen regionalgeologischen Studie gilt heute nach wie vor, daß die Kernstücke der Arosazone im Liegenden der Kalkalpen durch ihre jetzt schon bekannten spezifischen Leitgesteine, die im Bestand der Kalkalpen fehlen, nämlich vor allem den mittelkretazischen Spiliten, die bis in die Stirnzone (Wildbachschlucht E Hindelang) oft ihre Pillowstruktur erhalten haben, als fernverschürfte Elemente klar erfassbar sind.

Die Bedeutung dieser Arosa Schollenschar liegt nun in der Aussage über Zustand und Position der Decken vor der alttertiären Transportphase. Demnach müssen zu dieser Zeit die Kalkalpen bereits die mittelostalpine Kristallinmasse der Silvretta passiert haben und so weit vorgeschoben gewesen sein, daß der Deckenverband an seiner Basis im heutigen Raum der Zentralalpen noch weit über die davor freiliegende Arosazone zu liegen kam, im Hauptteil ohne trennendes Kristallin, so daß die Späne aufgeschürft werden konnten. Ferner ergibt sich, daß zu dieser Zeit die Gliederung Allgäudecke und Lechtaldecke bereits fertig vorlag, und an der alten Deckengrenze bei dem Transport über die Arosazone und auch über dem Flysch keine nennenswerte Bewegung stattgefunden hat, da die Arosa Schürflinge nur an der Basis der Gesamtmasse und an Schollengrenzen (Rhätikon), nicht aber an den Deckengrenzen aufgeschleppt erscheinen.

Aus dieser Überlegung folgt ferner, daß die heute erhaltene Überlagerungsbreite zwischen Allgäu- und Lechtaldecke im obersten Lechgebiet relativ gering ist und im Meridian des Klesenzafeners 5 km nicht überschreitet (wie ähnlich auch am Westrand der Kalkalpen im Gr. Walsertal ersichtlich), da die Arosa Scholle des Klesenzafeners wohl die Unterlage der Kalkalpen und nicht einen an interner Deckengrenze eingeschleppten Span darstellt.

Die Fortsetzung des basalen kalkalpinen Reibungsteppichs in den Zentralalpen: die Madrisazone

Aus dem zuvor Gesagten ergibt sich logisch, daß auf der Oberfläche der Arosadecke in den Zentralalpen in jenem Abschnitt, über den aufpflügend die Kalkalpen hinwegtransportiert worden sind, neben der Entnahme von Schürflingen auch die Zurücklassung von kalkalpinen Schollen zu erwarten ist. Da über diesem Teil der Arosazone heute die Decke des Silvretta-Kristallins lagert, die im Zuge des tertiären Nachschubes selbst noch über die einstige Schubbahn der Kalkalpen im Ostprättigau nachgeschoben worden ist, könnten sich solche kalkalpine Schollen nur in der Bewegungsfuge zwischen Arosazone und Silvretta-Kristallin erhalten haben. Tatsächlich wurden diese Schollen bei der Exkursion der SGF im September 1969 vorgefunden. Trotzdem schon seit W. v. SEIDLITZ (1906) ihre kalkalpine Natur bekannt ist, war die „Wiederentdeckung“ eine Überraschung, da sie in der Zwischenzeit verschiedene, andersartige Deutungen erfahren hatten.

Der kalkalpine Charakter der Schollen geht klar aus dem Anteil von Partnach-schiefern und -kalken hervor, ein für den Westteil der Lechtaldecke sehr charakteristisches Element, das in den zentralalpiner Einheiten des Westens vollkommen fehlt. Das nächste Vorkommen im Zentralalpin des Ostens in der Kalkögelgruppe S Innsbruck hat noch dazu geringe Ausdehnung. Die Metamorphose der Schollen ist sehr gering, was aber durchaus nicht überrascht, da ja auch noch wesentlich tiefere Einheiten hier nur sehr wenig metamorph sind. Dafür aber erreicht die tektonische Verspießung der kalkalpinen Schollen am Rücken der Arosa-Decke und unter dem Silvretta-Kristallin enormes Ausmaß, wie alle Beobachter ausführen (vgl. W. HÄFNER 1924, S. 26: Haufwerk von steil gestellten dünnen Schuppen . . . in ganz regelloser stratigraphischer Anordnung).

Die Reihe dieser kalkalpinen Schollen S der Mittagsspitze reicht von der Platina-Basissscholle im N bis zu den Saaseralpschollen im S und soll nach ihrem Hauptrepräsentanten als Madrisazone bezeichnet werden. Diese Madrisa-Schollenzone umfaßt folgende Hauptvorkommen (Abb. 2), die sich an die bereits isolierten und in tektonischer Hinsicht unter die Hauptmasse des Rhätikon und seiner Phyllitgneisunterlage einfallenden Schollen des Kristakopfes bei Tschagguns (fensterartig nach der Rhätikon-Karte von W. HEISSEL et al. 1965) und der umstrittenen Mittagsspitze gegen S hin anreihen: Platinakopf-Basissscholle, tektonisch stark verschuppter Schollenschwarm vom Gargellenkopf-See über die „Bänder“ gegen S ziehend, zweifach geteilter Zug N des Madrisahornes, der mächtig um das Horn im W herumschwenkt, W St. Jacob wieder anschwillt und

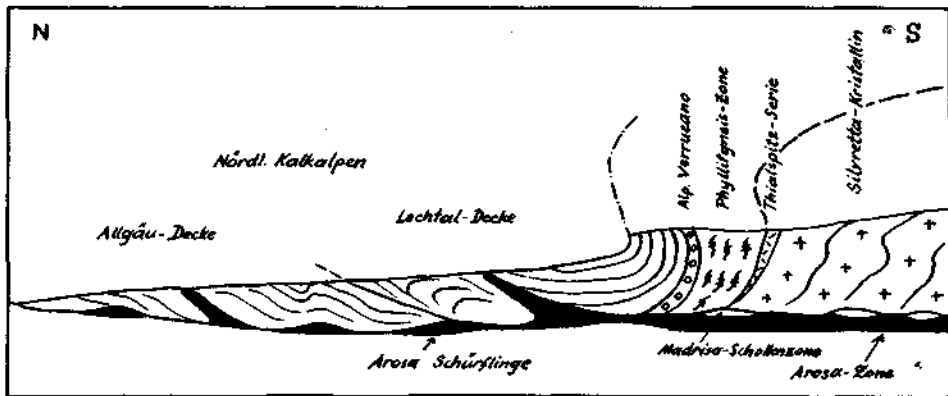


Abb. 1. Schematisches Sammelprofil der Verhältnisse nahe dem Westrand der Kalkalpen. Es soll in stark generalisierter Weise das Ausheben der Kalkalpen über dem Kristallin der Zentralalpen und die auf der einstigen Schubbahn liegenden, sekundär eingewickelten kalkalpinen Schollen der Madrisazone zeigen.

schließlich zuletzt auf der Saaseralp und W der Kote 1878 erfaßt worden ist (W. HÄFNER 1926, Karte). Damit reicht diese Schollenreihe vom Südrand der letzten Großscholle des Rhätikon 13,5 km weit gegen S, bis auf 4 km an Klosters von NNW herankommend.

Im Gargellen-Fenster ist die Madrisazone durch die Täscher-Scholle unter dem Silvrettakristallin des Westrahmens vertreten, die als Dolomitspan über dem Aptychenkalk der Arosazone von M. BLUMENTHAL (1926, S. 50; Abb. 2, Prof. 6, S. 46) auf der SE-Seite des Täscher verzeichnet worden ist.

Diese Madrisa-Schollenzone war seit je ins Auge gesprungen — namentlich im so eindrucksvollen Profil zwischen Rätchenhorn und Madrisahorn. Sie hatte verschiedene Deutungen erfahren. Wenn wir in tektonischer Hinsicht von den Arbeiten aus der Zeit vor der Deckenlehre — wie etwa jener von G. THEOBALD (1864, S. 97 f.: Arlbergkalk und Partnachsichten erkannt!) und von CH. TARNUZZER (1891, S. 92—95) absehen, so ist unter den klassischen Bearbeitungen an erster Stelle die Untersuchung von W. v. SEIDLITZ (1906, S. 311) zu nennen. Diesem Autor gebührt das Verdienst, sowohl Ausdehnung als auch Zugehörigkeit dieser Schollenzone richtig erfaßt zu haben: Er sah darin die Fortsetzung der kalkalpinen Mittagspitzmulde (S. 80) über Schollberg (Taf. 8 B, Fig. 5), über die Region „Auf den (Gafier-)Bändern“, unter dem Madrisahorn (Taf. 8 B, Fig. 6; S. 320, Abb. 11; S. 321, Abb. 12; S. 324, Abb. 13; Taf. 11) bis zum Westfuß des Bernethorn (S. 311). Die Schweizer Geologen J. CADISCH (1921, S. 74 und 1953, S. 400) sowie W. HÄFNER (1924, S. 26—28) wendeten sich energisch gegen diese Deutung und rechneten die Schollenzone ähnlich wie H. P. CORNELIUS (1921, S. 90: Unterostalpin) zur Arosa Schuppenzone dazu, die W. HÄFNER, der das Gebiet auf genaueste kartiert hatte (Karte 1926), in zwei Züge geteilt hat (1924, S. 27), nämlich in einen, die eigentliche Arosazone repräsentierenden und in einen oberen, eben diese Schollenreihe verkörpernden. M. RICHTER (1930, S. 504) hatte dann den tektonischen Charakter der Zone entgegen W. v. SEIDLITZ von einem

Muldenelement in eine Schollenreihe umgedeutet; durch die kalkalpine Fazies aber war M. RICHTER verleitet worden, hierin die primäre Fortsetzung der Lechtaldecke unter der Silvrettedecke als Verbindung zu den Arosen Dolomiten zu sehen und gelangte mit seiner „Lechtaldecke“ in immer weitere Elemente im Süden, nämlich die Casannaschuppe, die Tschirpenschuppe, das Parpaner Weißhorn und die Aeladecke bis zur „Ortlerdecke“ als südlichsten Bestandteil einer so gefaßten „Lechtaldecke“ (S. 507, Taf. 30). Die Inntaldecke hingegen wurde mit der „Umbraildecke“ verbunden. Diese Synthese M. RICHTERS von 1930 trug aber unter anderem nicht dem Umstand Rechnung, daß die Lechtaldecke auf ihrer Südseite mitsamt der Phyllitgneiszone über dem Silvrettakristallin aushebt (Abb. 1).

D. RICHTER (1957, S. 307) rechnete die Trias der Madrisazone hingegen wieder im Sinne der Schweizer Geologen in die (von ihm ins Unterostalpin gestellte) Arosazone. Zuletzt war die kalkalpine Schollenreihe unter dem Madrisahorn ebenfalls noch zu den „Oberen Schuppen der Arosazone“ zusammengefaßt und mit Vorbehalt dem Unterostalpin zugeordnet worden (R. TRÜMPY et al. 1969, B, S. 33; Taf. A II/9).

Eine Anmerkung ist noch zur näheren Präzisierung des Herkunftsgebietes der Madrisa-Schollenzone, der damit klar verbundenen Mittagsspitze und der in gleicher Position unter der Phyllitgneiszone liegenden Kristakopfscholle — die ja schon von W. v. SEIDLITZ (1912, S. 428) als Fortsetzung der Mittagsspitze angesehen worden war — vonnöten. Zuzufolge der tektonischen Lagerung unter der Phyllitgneiszone ist eine Ableitung vom Südrand der Lechtaldecke im SE-Abschnitt des Rhätikon kaum möglich. Hingegen kann man darin ein vom Hauptkörper der Kalkalpen samt Phyllitgneisunterlage überschobenes, vom Stirrand der Lechtaldecke abgesplittertes Schollenland erblicken. Der Vorderrand der Lechtaldecke kommt ja im W nach Enden der Allgäudecke an den Haupttrand der Kalkalpen heran. So erklärt sich auch der Faziesgegensatz zwischen der Schollenzone und dem Rhätikon, auf den O. REITHOFER et al. (1964, S. 230) hingewiesen haben: Es ist die Kieselkalkfazies des Lias des Mittagsspitzzuges, die nicht zum Rhätikon mit seinen Liasfleckenmergeln paßt, wohl aber sehr gut mit der gerade im Stirngebiet der Lechtaldecke auftretenden entsprechenden Kiesellias-Entwicklung korrespondiert. D. RICHTER (1956, S. 350) hat aus dem Westrandgebiet der Wandfluh-Stirnschuppe der Lechtaldecke diese Kiesellias-Ausbildung in der Region Glattmar-Wangspitz hervorgehoben.

Eine andere Deutungsmöglichkeit von Kristakopf- und Mittagsspitze hat M. KOBEL (1969, S. 21 ff.) gegeben, der sie primär an den Südrand des Rhätikon anreicht. Mir erscheint diese Deutung zufolge der weiten Überfahrung der Kristakopfscholle durch das Kristallin der Phyllitgneiszone samt auflagerndem Davenna-Rhätikon-Mesozoikum (auch KOBEL setzt einen Mindestüberschiebungsbetrag von 3—4 km an) nicht wahrscheinlich, ebenso wie die direkte Verbindung zwischen dieser weit überfahrenen Scholle im Liegenden des Phyllitgneises und der trotz lokaler Sekundärstörungen dem Phyllitgneis grundsätzlich auflagernden Rhätikonmasse und der damit zusammenhängenden Freskalotschuppe unwahrscheinlich erscheint. Für die Frage der großtektonischen Stellung der Madrisazone

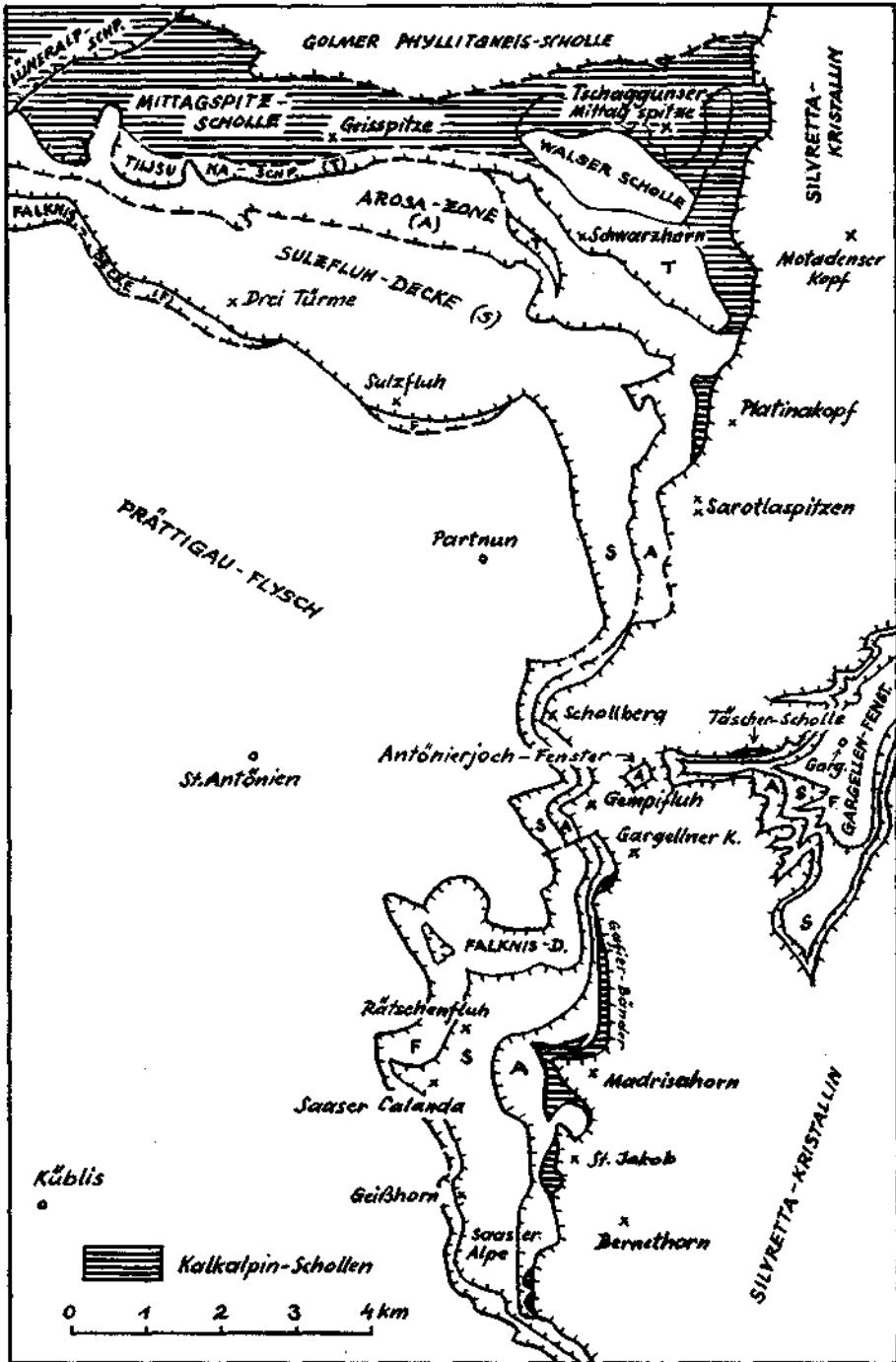


Abb. 2.

aber ist diese jetzt noch verschieden gedeutete Ableitung von Kristakopf- und Mittagspitzscholle vom Vorder- oder Hinterrand der Lechtaldecke nur von zweitrangiger Bedeutung.

Die in der vorliegenden Studie gegebene Deutung der Madrisa-Zone bestätigt die Ergebnisse von der Art des kalkalpinen Transportes, wie er bereits aus den Arosa Schürflingen abzulesen war (s. o.). Man kann nunmehr direkt den Mindestbetrag des Weges sehen, welchen die Kalkalpen nach Überschiebung des mittelostalpinen Kristallins über der zusammenhängenden Arosazone der Zentralalpen N Klosters genommen haben. Zugleich aber liefert die Zurückverfolgung der unter dem Silvrettakristallin eingewickelten kalkalpinen Späne einen weiteren Beweis (Punkt 14) für die Herkunft dieses Deckensystems aus dem Süden, aus dem Bereich der Zentralalpen.

Literatur

- AMPFERER, O.: Zur Großtektonik von Vorarlberg. — *Jahrb. Geol. B.-A.*, 82, 31—64, 25 Abb., Wien 1932.
- ANDERLE, N.: Zur Schichtfolge und Tektonik des Dobratsch und seine Beziehung zur alpidinarischen Grenzzone. — *Ebenda*, 94, 195—236, Taf. 12—13, Wien 1950.
- BLUMENTHAL, M.: Das Fenster von Gargellen (Vorarlberg). — *Ecl. geol. Helv.*, 20, 40—78, 8 Abb., Basel 1926.
- BLUMENTHAL, M.: Der Sedimentzug der Tschagguner Mittagsspitze etc. — *Jber. Natforsch. Ges. Graubünden*, 74, 33—108, 5 Abb., 2 Taf., Chur 1936.
- BRINKMANN, R.: Über Fenster von Flysch in den nordöstlichen Kalkalpen. — *Sitzber. Preuß. Akad. Wiss., phys.-mathem. Kl.*, 31, (1936), 436—445, 5 Abb., Berlin 1936.
- BRIX, F., & GÖTZINGER, K.: Die Ergebnisse der Aufschlußarbeiten der ÖMV AG in der Molassezone Niederösterreichs in den Jahren 1957—1963, I. Teil. — *Erdoel-Z.*, 80, 57—76, 7 Abb., 5 Tab., Wien 1964.
- CADISCH, J.: Geologie der Weißfluhgruppe zwischen Klosters und Langwies (Graubünden). — *Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F.* 49, 1. Abt., 91 S., 10 Abb., 3 Taf., Bern 1921.
- CADISCH, J.: Geologie der Schweizer Alpen. 2. Aufl., 480 S., 59 Abb., 2 Taf., Basel (Wepf) 1953.
- CLAR, E.: Zum Bewegungsbild des Gebirgsbaues der Ostalpen. — *Verh. Geol. B.-A.*, Sdh. G, 11—35, 2 Abb., 4 Taf., Wien 1965.
- CLOSS, H.: Der tiefere Untergrund der Alpen nach neuen seismischen Messungen. — *Geol. Rdsch.*, 53, 630—649, 11 Abb., Stuttgart 1964.
- CORNELIUS, H. P.: Bemerkungen zur Geologie des östlichen Rhätikons. — *Verh. Geol. St.-A.*, 1921, 85—90, Wien 1921.
- CORNELIUS, H. P.: Die krystallinen Schollen im Retterschwangtale (Allgäu) und ihre Umgebung. — *Mitt. Geol. Ges. Wien*, 14 (1921), 1—84, 5 Abb., Taf. 1—2, Wien 1922.
- DEL-NEGRO, W.: C. W. Kockels „Umbau der nördlichen Kalkalpen“ und der Deckenbau der Salzburger Kalkalpen. — *Verh. Geol. B.-A.*, 1958, 86—89, Wien 1958.
- DEL-NEGRO, W.: Neue Vorstellungen über den Bau der Ostalpen. — *Jb. Geol. B.-A.*, 105, 1—18, 1 Abb., Wien 1962.
- DEL-NEGRO, W.: Das Bildungsgesetz der Alpen und Apenninen. — *Salzburger Universitätsreden*, 40, 24 S., 1 Abb., 4 Tab., Salzburg (Pustet) 1969.
- GANSS, O.: Geologie des Blattes Bergen. — *Geologica Bavar.*, 26, 164 S., 7 Abb., 6 Beil., 1 geol. K., München 1956.
- GIESE, P.: Ergebnisse der bisherigen seismischen Messungen in den Alpen und Erörterung einiger damit zusammenhängender Probleme. — *Max-Richter-Festschrift*, 271—290, 11 Abb., Clausenthal 1965.
- HÄFNER, W.: Geologie des südöstlichen Rätikon. — *Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F.* 54, 33 S., 1 Abb., 3 Taf., 1 geol. K. (1926), Bern 1924.

- HEISSEL, W., OBERHAUSER, R., REITHOFER, O., & SCHMIDEGG, O.: Geologische Karte des Rätikon 1 : 25.000. — Geol. B.-A., Wien 1965.
- HERTWECK, G.: Die Geologie der Ötscherdecke im Gebiet der Triesting und der Piesting usw. — Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Wien, 12, 3—84, Taf. 1—6, Wien 1961.
- HUCKRIEDE, R.: Das sogenannte Klesenzafenster in den Vorarlberger Kalkalpen. — Notizbl. hess. L.-A. Bodenforsch., 87, 227—238, 4 Abb., Wiesbaden 1958.
- JACOBSSHAGEN, V., & OTTE, O.: Zur Stellung der Arosa-Zone im Allgäu und im Bregenzer Wald (Ostalpen). — Geologica et Palaeont., 2, 97—107, 5 Abb., Marburg 1968.
- JANOSCHEK, R.: Erdöl und Erdgas in Oberösterreich. — Katalog Geol. Paläont. Linzer Raumes (Herausg. W. PODZEIT & F. STEININGER), 91—107, 8 Abb., 2 Tab., Linz 1969.
- KOBEL, M.: Lithostratigraphische und sedimentologische Untersuchungen in der kalkalpinen Mitteltrias des Rhätikon usw. — Mitt. Geol. Inst. TH Zürich, N.F. 118, 149 S., 17 Abb., 1+12 Taf., 2 Beil.-Taf., Zürich 1969.
- KOBER, L.: Bau und Entstehung der Alpen. 1. Aufl., 283 S., 102 Abb., 8 Taf., Berlin (Borntraeger) 1923.
- KOLLMANN, H.: Zur Gliederung der Kreideablagerungen der Weyerer Bögen (O.-Ö.). — Verh. Geol. B.-A., 1968, 126—137, Taf. 1—2, Wien 1968.
- KRAUS, E.: Der Abbau der Gebirge, Band I: Der alpine Bauplan. — 352 S., 57 Abb., 8 Prof., 1 Karte, Berlin (Borntraeger) 1936.
- KRAUS, E.: Das Gesamtbild der Alpen, baugeschichtlich betrachtet. — Geol. Rdsch., 52, 744—754, Stuttgart 1962.
- KRAUS, O.: Die Raibler Schichten des Drauzuges usw. — Jb. Geol. B.-A., 112, 81—152, 18 Abb., Taf. 1—7, Wien 1969.
- KRAUS, O., & OTT, E.: Eine ladinische Riffauna im Dobratsch-Gipfelkalk (Kärnten, Österreich) und Bemerkungen zum Faziesvergleich von Nordalpen und Drauzug. — Mitt. Bayer. Staatssamml. usw., 8, 263—290, München 1968.
- KRÖLL, A., & WESSELY, G.: Neue Erkenntnisse über Molasse, Flysch und Kalkalpen auf Grund der Ergebnisse der Bohrung Urmannsau I. — Erdoel-Z., 83, 342—353, 3 Abb., 1 Taf., Wien 1967.
- KÜPPER, H.: Die Ergebnisse der Bohrung Urmannsau als Beitrag zur Alpengeologie. — Mitt. Geol. Ges. Wien, 60, (1967), 65—68, Wien 1968.
- LÖCSEI, J.: Die geröllführende Mittelkreide der östlichen Kalkvoralpen (Abschnitt Losenstein-Wien). — Unveröff. Diss. Phil. Fak. Univ. Wien, 207 S., zahlr. Abb., 20 Taf., 13 Beil.-Taf., Wien 1970.
- LUGEON, M.: La région de la Brèche du Chablais. — Bull. Serv. Carte géol. France, 7, No. 49, 310 S., zahlr. Abb., 7 Taf., 1 geol. K., Paris 1896.
- LUGEON, M.: Les grandes nappes de recouvrement des Alpes du Chablais et de la Suisse. — Bull. Soc. géol. France, (4) 1, 723—823, 14 Abb., Taf. 14—17, Paris 1901.
- MYLIUS, H.: Geologische Forschungen an der Grenze zwischen Ost- und Westalpen. — I. Teil: 153 S., 47 Abb., 14 Taf., 1912; II. Teil: 186 S., 47 Abb., 23 Taf., München (Piloty & Loehle) 1913.
- PLÖCHINGER, B.: Die tektonischen Fenster von St. Gilgen und Strobl am Wolfgangsee (Salzburg, Österreich). — Jb. Geol. B.-A., 107, 11—69, 9 Abb., Taf. 1—2, Wien 1964.
- PLÖCHINGER, B., & PREY, S.: Profile durch die Windischgarstener Störungszone im Raume Windischgarsten—St. Gallen. — Ebenda, 111, 175—211, 4 Abb., 2 Tab., 3 Taf. (1—3), Wien 1968.
- POLL, K.: Die Diskussion des Deckenbaues in den Nördlichen Kalkalpen. — Zbl. Geol. Paläont., I, 1967, 889—916, 1079—1116, Stuttgart 1967.
- PREY, S.: Gedanken über Flysch und Klippenzonen in Österreich anlässlich einer Exkursion in die polnischen Karpaten. — Verh. Geol. B.-A., 1960, 197—214, 1 Abb., Wien 1960.
- PREY, S., RUTTNER, A., & WOLETZ, G.: Das Flyschfenster von Windischgarsten innerhalb der Kalkalpen Oberösterreichs. — Verh. Geol. B.-A., 1959, 201—216, 1 Abb., 3 Taf., Wien 1959.
- PRODEHL, C.: Struktur der tieferen Erdkruste in Südbayern und längs eines Querprofiles durch die Ostalpen, abgeleitet aus refraktions-seismischen Messungen bis 1964. — Bolletino Geofisica Teorica ed Applicata, 7, 34—88, 31 Abb., 1965.

- REICH, H.: Zur Frage der geologischen Deutung seismischer Grenzflächen in den Alpen. — Geol. Rdsch., 50, 465—473, 4 Abb., Taf. 12—13, Stuttgart 1960.
- RICHTER, D.: Über die Retterschwang-Decke bei Hindelang im Allgäu. — N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1954, 385—392, 2 Abb., Stuttgart 1955.
- RICHTER, D.: Neue Untersuchungen in der Randzone von Flysch und Ostalpin im Gebiet des Großen Walsertales (Vorarlberg). — N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 103, 341—374, 9 Abb., 2 Beil.-Taf., Stuttgart 1956.
- RICHTER, D.: Gesteine und Vorkommen der Arosa-Zone zwischen Arosa und Hindelang im Allgäu. — Geol. Rdsch., 46, 413—420, 1 Abb., 1 Tab., Stuttgart 1957 a.
- RICHTER, D.: Beiträge zur Geologie der Arosa-Zone zwischen Mittelbünden und dem Allgäu. — N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 105, 285—372, 7 Abb., 1 Tab., 1 Karte, Stuttgart 1957 b.
- RICHTER, D.: Geologie der Allgäuer Alpen südlich von Hindelang. — Beih. Geol. Jb., 48, 45—128, 25 Abb., 3 Tab., 2 Taf., Hannover 1963.
- RICHTER, M.: Der ostalpine Deckenbogen. — Jb. Geol. B.-A., 80, 497—540, 7 Abb., 1 Taf. (20), Wien 1930.
- RICHTER, M.: Die deutschen Alpen und ihre Entstehung. — Deutscher Boden, 5, 179 S., 56 Abb., Berlin (Borntraeger) 1937.
- RICHTER, M.: Über den Bau der Vorarlberger Alpen zwischen oberem Lech, Flexenpaß und Ill. — Festschr. H. Stille, 190—204, 9 Abb., Taf. 12, Stuttgart (Dt. Geol. Ges. usw.) 1956.
- RICHTER, M.: Über den Bau der nördlichen Kalkalpen im Rätikon. — Z. dtsh. geol. Ges., 110, 307—325, 6 Abb., 1 Taf. (13), Hannover 1958.
- ROTHPLETZ, A.: Geologische Alpenforschungen II. — 261 S., 99 Abb., 1 Taf., München (Lindauer) 1905.
- SCHIDLOWSKI, M.: Die geologischen Verhältnisse am Klesenza-Fenster in den Vorarlberger Alpen. Eine Antwort an R. HUCKRIEDE. — N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1960, 458—469, 3 Abb., Stuttgart 1960.
- SCHWAN, W.: Leitende Strukturen am Nordostrand der Hohen Tauern. — Verh. Geol. B.-A., Sdh. G, 214—245, 26 Abb., Wien 1965.
- SEIDLITZ, W. v.: Geologische Untersuchungen im östlichen Rätikon. — Ber. Natf. Ges. Freiburg im Breisgau, 16, 232—366, 20 Abb., 5 Taf. (7—11), Freiburg im Breisgau 1906.
- SEIDLITZ, W. v.: Schollenfenster im Vorarlberger Rätikon und im Fürstentum Liechtenstein. — Mitt. Geol. Ges. Wien, 1, 37—62, 2 Abb., 1 Taf., Wien 1911.
- STEINMANN, G.: Geologische Beobachtungen in den Alpen, I. Das Alter der Bündner Schiefer. — Ber. Natf. Ges. Freiburg im Breisgau, 9 (1895), 245—263, 1 Abb.; 10 (1898), 215—292, 6 Abb., Taf. 1, Freiburg im Breisgau 1895/1898.
- STEINMANN, G.: Geologische Beobachtungen in den Alpen, II. Die Schardt'sche Überfaltungstheorie. — Ebenda, 16, 18—67, 1 Tab., Freiburg im Breisgau 1906.
- TARNUZZER, CH.: Der geologische Bau des Rhätikongebirges. — Jber. Natf. Ges. Graubünden, 35 (1890/91), 124 S., 13 Abb., 1 geol. K., Chur 1892.
- THEOBALD, G.: Geologische Beschreibung der nordöstlichen Gebirge von Graubünden. — Beitr. Geol. Karte Schweiz, 2, 374 S., 18 Taf., Bern 1864.
- THURNER, A.: Die Geologie der Hohen Tauern im Sinne der Verschluckungslehre. — N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1969, 618—642, 7 Abb., Stuttgart 1969.
- TOLLMANN, A.: Der Deckenbau der Ostalpen auf Grund der Neuuntersuchung des zentralalpinen Mesozoikums. — Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Wien, 10, 3—62, Taf. 1, Wien 1959.
- TOLLMANN, A.: Der Baustil der tieferen tektonischen Einheiten der Ostalpen im Tauernfenster und in seinem Rahmen. — Geol. Rdsch., 52, 226—237, Taf. 5, Stuttgart 1962.
- TOLLMANN, A.: Die Faziesverhältnisse im Mesozoikum des Molasse-Untergrundes usw. — Erdoel-Z., 79, 41—52, 2 Abb., Wien 1963 a.
- TOLLMANN, A.: Ostalpensynthese. — VIII + 256 S., 22 Abb., 11 Taf., Wien (Deuticke) 1963 b.
- TOLLMANN, A.: Faziesanalyse der alpidischen Serien der Ostalpen. — Verh. Geol. B.-A., Sdh. G, 103—133, 1 Abb., Wien 1965.
- TOLLMANN, A.: Tektonische Karte der Nördlichen Kalkalpen. — Mitt. Geol. Ges. Wien, 1. Teil: 59 (1966), 231—253, Taf. 1—2, Wien 1966; 2. Teil: 61 (1968), 124—181, Taf. 1, Wien 1969; 3. Teil: 62 (1969), Taf. 1—3, im Druck, Wien 1970 a.

- TOLLMANN, A.: Der Deckenbau der westlichen Nordkalkalpen. — N. Jb. Geol. Paläont. Abh., im Druck, Stuttgart 1970 b.
- TOLLMANN, A.: Zur Rehabilitierung des Deckenbaues in den westlichen Nordkalkalpen. — Jb. Geol. B.-A., im Druck, Wien 1970 c.
- TRÜMPY, R. et al.: Livret-guide des Grisonides. Réunion extraordinaire de la Société géologique de France. — Teil A (85 S.), Teil B (38 S.), Tafn., Paris (SGF.) 1969.
- VERT, E.: Der Bau der südlichen Molasse Oberbayerns auf Grund der Deutung seismischer Profile. — Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing., 30, Nr. 78, 15—52, 17 Abb., Zürich 1963.
- WESSELY, G.: Ein Fossilfundpunkt im Lias von Groisbach (N.-Ö.) und seine geologische Stellung. — Verh. Geol. B.-A., 1967, 37—50, 2 Abb., Wien 1967.
- WESTRUP, J.: Das Fenster von Gerstruben und seine tektonische Stellung in den Allgäuer Kalkalpen. — Geologica et Palaeont., 1, 35—47, 7 Abb., 1 geol. Karte, Marburg a. d. L. 1967.
- WUNDERLICH, H. G.: Zur tektonischen Synthese der Ost- und Westalpen nach 60 Jahren ostalpiner Deckentheorie. — Geologie en Mijnbouw, 43, 33—51, s'Gravenhage 1964.
- WUNDERLICH, H. G.: Wesen und Ursachen der Gebirgsbildung. — Hochschultaschenbuch 339 bis 339 b, 367 S., 60 Abb., Mannheim (Bibliogr. Inst.) 1966.
- WUNDERLICH, H. G.: Orogenfront-Verlagerung in Alpen, Apennin und Dinariden und die Einwurzelung strittiger Deckenkomplexe. — Geologie en Mijnbouw, 46, 40—60, 10 Abb., s'Gravenhage 1967.
- ZEIL, W.: Zur Deutung der Tektonik in den deutschen Alpen zwischen Iller und Traun. — Z. dtsh. geol. Ges., III, 74—100, 8 Abb., Hannover 1959.