

## Der rezente Sial-Tiefenwulst unter den östlichen Hohen Tauern.

Von Ch. Exner.

Mit 3 Textfiguren.

Die tiefere Ursache der jungen, wahrscheinlich auch noch rezenten Hebung des Gebirgskörpers der östlichen Hohen Tauern<sup>5)</sup> besteht, wie schon mehrfach von Geologen ausgesprochen wurde, in einer Anschoppung relativ leichten Materials in der Erdhaut vertikal unter den östlichen Hohen Tauern. Durch diese störende Masse ist der Gleichgewichtszustand (Isostasie) innerhalb der Erdhaut dieses Gebirgsabschnittes vereitelt. Wie bei einer schlecht tarierten Waage strebt die zu wenig belastete Waagschale, in unserem Falle die Hauptmasse des Gebirgskörpers der östlichen Hohen Tauern, nach aufwärts, um den Gleichgewichtszustand der Erdkruste zumindest annähernd zu erreichen. Dieses auch aus anderen alpidischen Orogenen bekannte Phänomen bildet heute einen wesentlichen Bestandteil unserer Vorstellungen über die Hochgebirgs-Entstehung im Zuge der Kettengebirgsbildung überhaupt und muß hier in seiner allgemein-geologischen Bedeutung nicht näher diskutiert werden. Es erscheint jedoch für die geologische Erforschung der östlichen Hohen Tauern zweckmäßig, durch ein kurzes Referat der jüngst erschienenen gravimetrischen Reduktionsarbeit von P. E. Holopainen<sup>5)</sup> und dessen Schlußfolgerungen über den Aufbau der Erdhaut unter unserem Gebirgsabschnitt in Übersicht zu stellen, was sich auf Grund der bisherigen gravimetrischen Messungen und auf Grund des heutigen Standes der isostatischen Reduktionsverfahren zu unserem Thema sagen läßt.

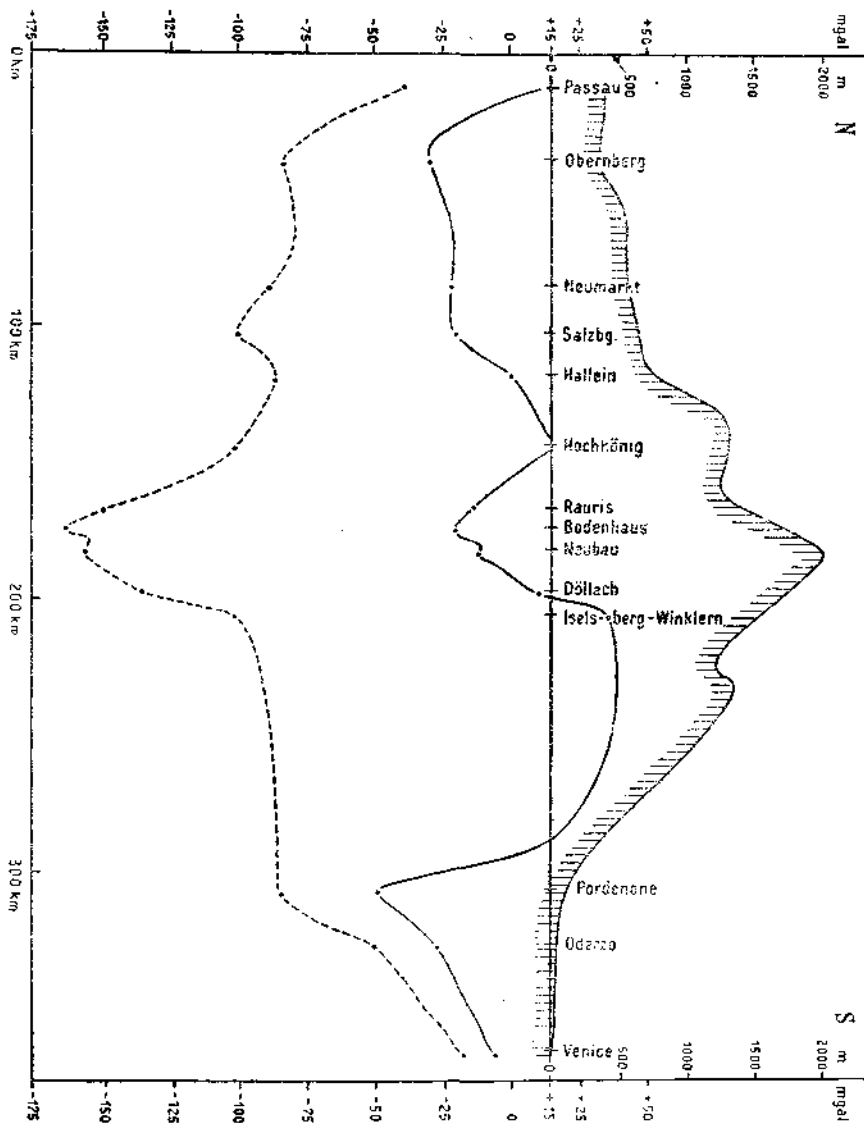
Die östlichen Hohen Tauern sind das einzige Gebiet der zentralen Ostalpen, aus dem veröffentlichte verlässliche Schweremessungen in größerer Zahl vorliegen. Es handelt sich bekanntlich um die beiden 1910 bis 1912 längs der Tauernbahn und längs der Linie: Rauristal-Hoher Sonnblick-Lienz gravimetrisch vermessenen Querprofile. Die entsprechenden Bouguer-Anomalien sind so wie überhaupt zumeist in den Alpen negativ. Längs der beiden Querprofile enthalten die Bouguer-Anomalien-Kurven sehr markant gerade im Raume des östlichen Tauernfensters eine steile „Tiefensenke“ (Fig. 1 a und b). Diese steile negative Ausbuchtung der Bouguer-Anomalien-Kurve, welche

Figur 1a

ALPEN-QUERPROFIL DURCH DIE ÖSTLICHEN HOHEN TAUERN  
LÄNGS DER LINIE RAURIS - HOHER SONNBLICK - LIENZ

(nach P. E. Holopainen 1947)

(Zeichenerklärung siehe Figur 1b!)

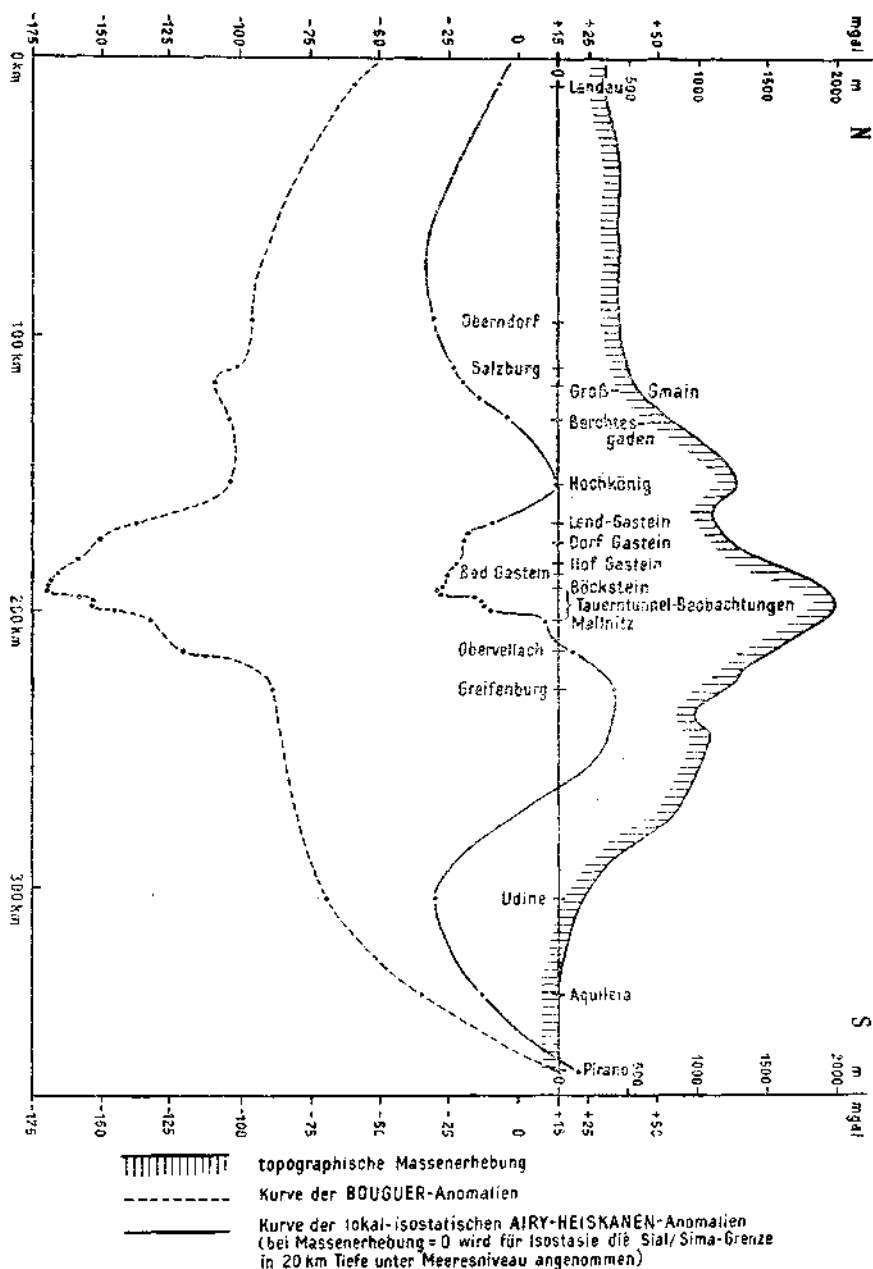


im N beim Salzachlängstal einsetzt und im S in der Umgebung der Matreier Zone endet, ist nicht nur das geologisch wertlose Ergebnis der Reduktionsformalitäten. Mit der Bouguer-Reduktion wird zwar die

Figur 1b

ALPEN-QUERPROFIL DURCH DIE ÖSTLICHEN HOHEN TAUERN  
LÄNGS DER TAUERNBAHN

(nach P. E. Holopainen 1947)



Attraktion, welche die „topographische Masse“ (Gebirgskörper zwischen Erdoberfläche und Meeres-Niveau) ausübt, in Abzug gebracht. Dem entsprechend muß sich auch formal-reduktionstechnisch eine topographische Massenerhebung wie die der östlichen Hohen Tauern zwischen Salzachlängstal und Mölltal jedenfalls als negative Ausbuchtung in der entsprechenden Bouguer-Anomalien-Kurve äußern; die Berechnung für den vorliegenden Fall ergibt jedoch, daß diese Reduktionsformalität keineswegs zur Erklärung der genannten steilen „Tiefensenke“ der Bouguer-Anomalien-Kurve in beiden Querprofilen auch nur annähernd ausreicht. Die „Tiefensenke“ der Kurve ist durch ein reelles Massendefizit unter den östlichen Hohen Tauern mit bedingt, das den Gleichgewichtszustand des Alpenkörpers gerade in diesem Gebirgsabschnitt beträchtlich stört.

Mit solcher längst getanen qualitativen Aussage geben sich die modernen Geodäten nicht zufrieden. Die Meßergebnisse der beiden gravimetrischen Querprofile durch die östlichen Hohen Tauern werden von ihnen auch zu quantitativen Aussagen über Form und Aufbau der störenden Massen unter den östlichen Hohen Tauern herangezogen. Der Weg dazu führt durch das, uns Geologen recht schwer durchdringlich erscheinende Gestrüpp isostatischer Reduktionsverfahren, reich an Manipulationen geophysikalischer und mathematischer Natur. Zunächst werden mehr oder weniger schematische Annahmen über die Dichteverhältnisse und den Gleichgewichtsmechanismus der Erdhaut postuliert. Diese beruhen auf den gegenwärtigen allgemein-geologischen, seismischen, tektonischen, petrographischen usw. Erfahrungen, vor allem auf der Hypothese der Zweiteilung der Erdhaut in Sial und Sima und den Angaben je eines mittleren Dichte-Wertes für Sial und Sima. Mitsamt diesen schematischen Prämissen gehen die beobachteten Schwerewerte in die Rechnung ein. Dieser Arbeit unterzog sich P. E. Holopainen mit dem ganzen Aufwand der Methoden des Isostatischen Institutes der Internationalen Vereinigung für Geodäsie auf Anregung des Vorstandes dieses Institutes, Prof. W. Heiskanen.

Die Untersuchung von P. E. Holopainen bezieht sich auf den gesamten Ostalpenraum und verarbeitet rechnerisch und generell-geologisch, ohne Lokalkörper wie Tauerngneis, Kalkphyllit usw. nach ihren Tiefenfortsätzen speziell in Rechnung zu stellen, insgesamt alle bis 1932 publizierten Schweremessungen des Ostalpenraumes, das sind in Summe 301 Messungen. Holopainen zeigt, daß die alten österreichischen Schweremessungen (1887 bis 1894) der Ära R. von Sterneck's nicht so schlecht sind, als vielfach angenommen wird und belegt dies durch Vergleich alter und neuer Messungen an jeweils

gleichem Orte in den Karpatenländern und teilweise auch in den Ostalpen. Vor allem scheinen sie nach Holopainen keinen systematischen Fehler zu enthalten und so verwendet er sie teilweise als zusätzliche Ergänzungswerte zu den neueren und besseren Messungen, ohne die maßgeblichen Berechnungen und geologischen Deutungen auf diese alten österreichischen Daten zu basieren. Weiters beinhalten diese 301 Schweremessungen die alten (1896 bis 1909) und neuen (1910 bis 1930) bayrischen Messungen, dann die von R. Schwinner<sup>9)</sup> allein berücksichtigten Tauernmessungen (1910 bis 1912) und die neueren Messungen (1923 bis 1932) vor allem aus dem Wiener Becken, sowie den italienischen und ungarischen Gebieten im Umkreis der Ostalpen.

Für die Gesteinsdichten werden, abgesehen von den lokalen Geländereduktionen, nach den Erfahrungen des oben genannten Instituts nur zwei Mittelwerte ganz generell eingesetzt: Dichte des Sial = 2,67; Dichte des Sima = 3,27. Die in Anwendung gebrachten Reduktionsformeln mögen in der Originalarbeit, die zugleich auch eine prinzipielle Anleitung für den nicht mit der Materie näher Vertrauten bringt, nachgelesen werden. Weil 1938, als Holopainen seine Rechnungen bereits durchgeführt hatte, Heiskanen eine neue Formel für die Normalschwere in Europa ableitete, welche um den konstanten Betrag von +15 mgal höhere Normalschwere-Werte ergibt, als die alte von Holopainen ursprünglich benützte Formel, gilt in der Arbeit von Holopainen die Normalschwere dann als erreicht, wenn die betreffende Anomalie +15 mgal beträgt. Die Ordinatenenteilung der Figuren 1 a und b setzt deshalb die Anomalie = +15 mgal und nicht die Anomalie = 0 mgal in das Meeresniveau.

Nun werden von Holopainen für 83 verlässliche neuere Schweremessungen im Ostalpenraum (einschließlich der Tauernmessungen) jeweils für jede Messung die Freiluft-, Bouguer-Reduktion und jeweils für jede Messung 16 verschiedene isostatische Reduktionen durchgeführt. Freiluft-, Bouguer- und vier verschiedene isostatische Reduktionen werden sogar für jeden der 301 alten und neuen gravimetrischen Meßwerte gerechnet. Jede der 16 isostatischen Reduktionen geht von anderen Annahmen bezüglich der generellen Tiefe der Sial/Sima-Grenze unter den Ostalpen und bezüglich des isostatischen Kompensations-Mechanismus unter den Ostalpen aus. Nach der Wahl des in Rechnung gesetzten isostatischen Kompensations-Mechanismus gliedern sich die 16 verschiedenartigen von Holopainen für die Ostalpen in Anwendung gebrachten isostatischen Reduktionen in zwei Gruppen:

a) Für vier isostatische Reduktionen wird das Airysche Schwimmprinzip der Sialschollen auf dem Sima in Anwendung gebracht (soge-

nannte „lokal-isostatische Airy-Heiskanen-Reduktion“). Nach diesem Prinzip erfolgt die isostatische Kompensation nur in vertikaler und nicht in seitlicher Richtung. Sie heißt „lokal“-isostatisch, weil, abgesehen von der Geländereduktion, nur die vertikal unter der Beobachtungsstation befindlichen Massen für die Erreichung des isostatischen Gleichgewichtszustandes in Rechnung gesetzt werden. Da in der oben bereits genannten schematischen Art nur zwei verschiedene Medien, nämlich Sial mit Dichte 2,67 und Sima mit Dichte 3,27 angesetzt werden, bleibt beim Rechnungsansatz bloß die eine Freiheit, das ist für die Grenze Sial/Sima verschiedene Tiefe unter dem Meeresniveau anzunehmen. Nun sinkt nach dem Airyschen Vorstellungskreis bekanntlich jede unter dem gravimetrischen Beobachtungspunkt vertikal hinabreichende und in das Sima eintauchend gedachte Sialsäule umso tiefer in das Sima ein, je höher die topographische Massenerhebung an der betreffenden Stelle des Beobachtungspunktes ist. Da aber der Zweck der ganzen Arbeit darin liegt, auf dem Wege der isostatischen Reduktion zur Kenntnis der annähernd generellen, für die gesamten Ostalpen gültigen Tiefe der Sial/Sima-Grenze unter den Ostalpen zu gelangen (siehe unten), so wird die nur durch die topographische Massenerhebung verursachte Einsinktiefte, welche ja entsprechend den verschiedenen Massenerhebungen an verschiedenen Beobachtungspunkten ungleich ist, zuerst eliminiert. Erst nach dieser Ausschaltung der nur durch die Massenerhebung verursachten Einsinktiefte hat es einen Sinn, nach der für die Ostalpen annähernd generell gültigen Sialtiefe zu suchen. Ist diese gefunden, dann kann für jeden Ort auf Grund der ihm zukommenden topographischen Massenerhebung nachträglich sehr einfach die zusätzliche Einsinktiefte gerechnet und zu der generellen Tiefe des Sial addiert werden. Die vier lokal-isostatischen Berechnungen wurden von Holopainen für die Annahmen Sial/Sima-Grenze unter dem Meeresniveau entweder 1. = 20 km, oder 2. = 30 km, oder 3. = 40 km, oder 4. = 60 km bei topographischer Massenerhebung = 0 jeweils getrennt durchgeführt.

b) Für die übrigen zwölf isostatischen Reduktionen wird das Prinzip der Krümmung einer schwimmenden elastischen Platte infolge Belastung an einem Punkt in Anwendung gebracht (sogenannte „regional-isostatische Vening-Meinesz-Reduktion“). Nach diesem Prinzip erfolgt die isostatische Kompensation nicht nur in vertikaler, sondern auch in geneigter und seitlicher Richtung. Sie heißt „regional“-isostatisch, weil auch die den gravimetrischen Meßpunkt regional umgebenden Massen, über die gewöhnliche Geländereduktion weit hinausgehend, für die Erreichung des isostatischen Gleichgewichts in Rech-

nung gesetzt werden. Hier spielt also nicht nur die Tiefe der betrachteten Sialplatte eine Rolle, sondern auch der Ausbreitungsradius der Kompensation. Die zwölf diesbezüglichen, ebenfalls jeweils getrennt durchgeführten isostatischen Berechnungen wurden mit Annahme der Sialplattendicke von entweder 1. = 20 km, oder 2. = 30 km, oder 3. = 40 km, bei topographischer Massenerhebung = 0 und bei jeweils verschiedenen Ausbreitungsradien durchgerechnet.

Diejenige der 16 getrennt durchgeführten isostatischen Reduktionen, welche im Ostalpenraum die Schwereanomalien am besten rund um einen Mittelwert (mittlere isostatische Anomalie) ausgleicht, ist dann die, welche ausgewählt wird und zu deren Ermittlung eben der ganze komplizierte und langwierige Rechnungsgang dient. Den Annahmen, welche ihr zugrunde liegen, kommt am ehesten reelle Bedeutung zu. Denn die Aufgabe besteht darin, die tatsächlich vorhandenen Schwereanomalien durch geophysikalisch und geologisch nicht absurd erscheinende Annahmen der Verteilung sialischer und simatischer Massen im Untergrund und des wirksamen Kompensations-Mechanismus so zu erklären, daß trotz der realen Schwereanomalien an einen annähernden Gleichgewichtszustand innerhalb der Erdhaut im Bereiche der Ostalpen gedacht werden kann. Holopainen zeigt, daß im Ostalpenraum die lokal-isostatische Airy-Heiskanen-Reduktion mit Sial/Sima-Grenze unter dem Meeresspiegel = 20 km bei topographischer Massenerhebung = 0, die kleinsten Abweichungen von der zugehörigen mittleren isostatischen Schwereanomalie aufweist, somit die ausgeglichene isostatische Anomalien-Kurve von allen 16 isostatischen Anomalien-Kurven liefert. Der Sial/Sima-Grenze unter dem Meeresspiegel = 20 km bei Massenerhebung = 0 und Airy-Heiskanen-Kompensationsprinzip kommt daher unter den Ostalpen am ehesten reelle Bedeutung zu.

Die  $\pm$  Ausschläge dieser isostatischen Anomalien-Kurve zeigen unmittelbar die rezenten, isostatisch nicht ausgeglichenen Schwere-defizit- und Überschwere-Gebiete an und sind daher für den Geologen von allergrößtem Interesse (Fig. 1 a und b).

Aus dem Verlauf der genannten isostatischen Anomalien-Kurve in den beiden Alpenquerprofilen durch die östlichen Hohen Tauern sind folgende, dem Alpenstreichen annähernd parallel verlaufende gravimetrische Zonen von N nach S zu erkennen:

1. Schwere-defizit-Gebiet der nördlichen Randsenke: Molassegebiet, Flyschzone, Hauptteil der nördlichen Kalkalpen. Dieses Schwere-defizit will P. E. Holopainen durch oberflächennahe mächtige Anhäufung leichter Sedimente (Dichte: 2,0 bis 2,2) erklären.

2. Überschwere-Gebiet der Landeck-Hochkönigzone: Südlichster Streifen der nördlichen Kalkalpen, Grauwackenzone. Das Überschwere-Gebiet erklärt P. E. Holopainen durch eine hypothetische E-Fortsetzung der helvetisch-autochthonen Massive. In Anbetracht der Einengungstektonik nördlich des Großvenedigermassivs (Habach- und Sulzbachkern) erscheint mir die Existenz eines kräftigen kristallinen Widerlagers unter der Grauwackenzone und S-Rand der nördlichen Kalkalpen tatsächlich recht wahrscheinlich.

3. Schweredefizit-Gebiet der östlichen Hohen Tauern: Erstaunlich gesetzmäßiges Zusammenfallen des Schweredefizit-Gebietes mit dem Raum des östlichen Tauernfensters zwischen Klammkalkzone im N und Matreier Zone im S. Bloß bei Mallnitz greift das Überschwere-Gebiet des südlichen Altkristallins randlich lokal auf das Fenstergebiet über. Die tiefste Einsenkung in der Kurve befindet sich, wie schon R. Schwinner<sup>9)</sup> feststellte, nicht unter dem Tauernhauptkamm, sondern nördlich davon. R. Schwinner war geneigt, diese Tatsache durch Konstruktion eines Granitstieles (Intrusionsschlot) zu erklären. Nach meinen geologischen Aufnahmen streicht die Achse des Tauerngewölbes (Grenzregion zwischen S- und N-einfallenden Gesteinsbänken) längs des Anlauftales zum Ortberg und weiter zum Bodenhaus. Dem Schnittpunkt mit dieser Linie entspricht in beiden gravimetrischen Profilen das intensivste Schweredefizit.

4. Überschwere-Gebiet des Altkristallins südlich der Hohen Tauern, teilweise südliche Kalkalpen usw.: Verläßlich ist hier bloß das Überschwere-Gebiet im Altkristallin-Streifen südlich der Hohen Tauern. Die gravimetrischen Meßergebnisse weiter südlich sind alt und vielleicht fehlerhaft.

5. Schweredefizit-Gebiet des S-Abfalles der Alpen und der jungen Alluvionen am Alpen-S-Rand: Hier will P. E. Holopainen das Schweredefizit wiederum so wie am Alpen-N-Rand durch oberflächennahe mächtige Anhäufung leichter Sedimente erklären.

Höchst auffallend ist jedenfalls, daß der Raum des östlichen Tauernfensters (Schweredefizit) im N und im S genau durch Überschwere-Gebiete abgegrenzt ist und daß das intensivste Schweredefizit mit der Gewölbeachse der östlichen Taueriden scharf übereinstimmt. Wie nun auch immer die Diskussion um die geologische Deutung der isostatischen Anomalien-Kurve am nördlichen und südlichen Alpenrand in Zukunft verlaufen mag, für die Hohen Tauern mit ihrer alpidischen Tiefenversenkung, regionalen Kristallisation und Granitisation<sup>2)</sup> scheint die Konstruktion eines vom orogenen Tiefensog alpidisch vertikal hinab-



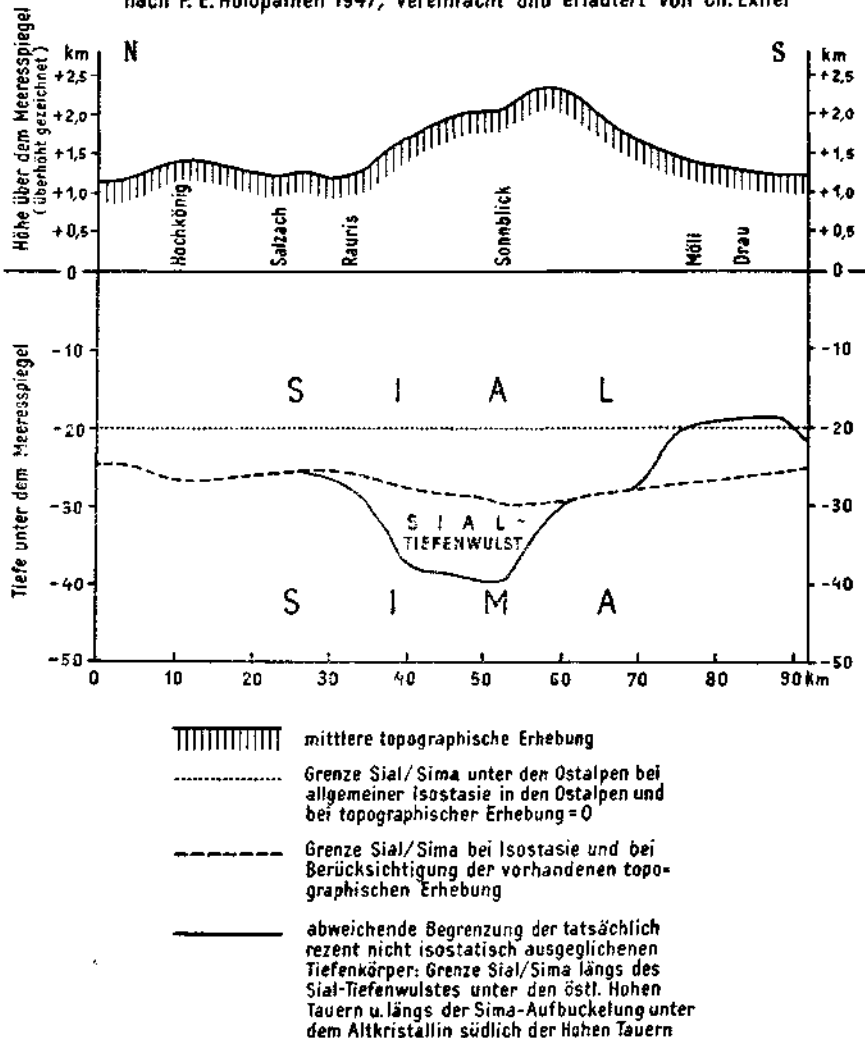
getauchten Sial-Tiefenwulstes die naturgegebene und richtige Theorie zu sein.

P. E. Holopainen führt aus den isostatischen Schwereanomaliewerten die Konstruktion des Sial-Tiefenwulstes unter den östlichen Hohen Tauern durch (Fig. 2):

Figur 2

SIAL-SIMA-GRENZE IM QUERSCHNITT DURCH DIE ERDHAUT  
UNTER DEN ÖSTLICHEN HOHEN TAUERN

nach P. E. Holopainen 1947, vereinfacht und erläutert von Ch. Exner



## 84 Ch. Exner Der rezente Sial-Tiefenwulst unter den östlichen Hohen Tauern

Die punktierte und strichlierte Linie entsprechen der Sial/Sima-Grenze bei theoretischer Isostasie. Und zwar bezeichnet die punktierte Linie die Sial/Sima-Grenze bei Massenerhebung = 0. Der Vertikalabstand der strichlierten von der punktierten Linie entspricht der Einsinktiefe (des Sials im Sima), welche durch die topographische Massenerhebung des Profils erzeugt wird. Die strichlierte Linie entspricht somit dem theoretischen Verlauf der Sial/Sima-Grenze im Profile für den gedachten Fall, daß Isostasie vorhanden wäre.

Tatsächlich ist aber rezent im N-S-Profil durch die Ostalpen (quer durch die östlichen Hohen Tauern) die Isostasie infolge des markanten Schweredefizits der östlichen Hohen Tauern gestört. Quantitativ entspricht das Schweredefizit einem 20 km breiten und 10 km tiefen prismatischen Sial-Tiefenwulst-Körper. Seine tiefste Stelle fällt mit der geologisch beobachteten Gewölbeachse der östlichen Hohen Tauern zusammen. Gegen N steigt der Sial-Tiefenwulst flach, gegen S steil an.

Während auf Grund der Untersuchung P. E. Holopainens die Normalgrenze zwischen Sial und Sima in den Ostalpen je nach der lokalen Massenerhebung etwa zwischen 25 und 30 km unter Meeresniveau liegen dürfte, biegt die Sial/Sima-Grenze unter den östlichen Hohen Tauern bis auf etwa 40 km unter Meeresniveau herab. Diese Werte stehen mit den seismischen Daten im Einklang<sup>1) 4)</sup>.

Es wäre sehr wünschenswert, auch die E-Grenze der Hohen Tauern, wo die Anzeichen junger, wahrscheinlich noch rezenter Hebung des Tauernkörpers besonders deutlich sind<sup>3)</sup> durch gravimetrische W—E-Profile, quer zur Katschbergzone, zu untersuchen.

(Bei der Schriftleitung eingegangen am 11. November 1948.)

### Schrifttum.

1. V. Conrad, Laufzeitkurven des Tauernbebens vom 28. 11. 1923, Mitt. d. Erdbebenkomm. Wien, N. F. 59, 1925.
2. Ch. Exner, Beiträge zur Kenntnis der Zentralgneisfacies, I. Teil. Tscherm. Min. u. Petr. Mitt. (III. F.), 1, 1949.
3. Ch. Exner, Beitrag zur Kenntnis der jungen Hebung der östlichen Hohen Tauern. Mitt. d. Geograph. Ges. Wien, 91, 1949.
4. B. Gutenberg, Der Aufbau der Erdkruste in Europa. Geol. Rundsch. 19, 1928.
5. P. E. Holopainen, On the Gravity Field and the Isostatic Structure of the Earth's Crust in the East Alps. Annales Academiae Scient. Fennicae, III. Geologica-Geographica, Helsinki, 1947.
6. F. Kautzky, Die jüngeren Verbiegungen in den Ostalpen und ihr Ausdruck im Schwebbild. SB. Akad. Wiss. Wien, m.-n. Kl. Abt. I, 133, 1924.
7. L. Kober, Beiträge zur Geologie der Schwereanomalien. Sb. Akad. Wiss. Wien, m.-n. Kl. Abt. I, 133, 1924.
8. R. Schwinner, Die Makroseismen vom 14. Mai 1930, bezogen auf den Bau der Ostalpen. Gerl. Beitr. z. Geophysik, 28, 1930.
9. R. Schwinner, Das Schwereprofil der Tauernbahn. Gerl. Beitr. z. Geophysik, 29, 1931.
10. R. Schwinner, Das Problem der Isostasie, Geol. Rundsch. 29, 1938.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Austrian Journal of Earth Sciences](#)

Jahr/Year: 1946

Band/Volume: [39\\_41](#)

Autor(en)/Author(s): Exner Christof

Artikel/Article: [Der rezente Sial-Tiefenwulst unter den östlichen Hohen Tauern. 75-84](#)