

*DDW*

## Molasse und Alpenrand in Oberbayern.

Von Dr. K. A. Weithofer.

Bis zur Zeit nach der Jahrhundertwende behandelten die geologischen Untersuchungen der oberbayerischen Molasse, wie dies wohl in der natürlichen Entwicklung liegt, in erster Linie die Klärlegung der stratigraphischen Verhältnisse. Nur soweit sie innerhalb des Molassegebietes zur Geltung kam, wurde auch die Tektonik der Molasse selbst mitgenommen, und der südlichen Randbegrenzung zu den Alpen hin gedacht. Diese Arbeiten kamen noch vor dem Kriege zu einem gewissen Abschluß.

Alle die verschiedenen Anschauungen wurden von dem Verfasser in einer Übersicht im Jahre 1914<sup>1</sup> nach ihrer Entwicklung besprochen. 1917<sup>2</sup> nahm er dann Gelegenheit, in einer ausgedehnteren, zusammenfassenden Arbeit die Geologie der oberbayerischen Molasse und ihrer räumlich verbundenen Zeitäquivalente zusammenfassend darzustellen. Es darf der Kürze halber bezüglich alles Näheren, insbesondere auf die letztere Veröffentlichung hingewiesen werden.

In stratigraphischer Hinsicht wurde die Schichtenfolge und die mehrfach sehr abweichenden faziellen Verschiedenheiten klar-gelegt. Es hat sich seither nichts wesentlich Neues dazu gesellt.

In tektonischer Beziehung wurden die drei streichenden Molassemulden festgelegt, mit den sie trennenden langgedehnten Störungslinien als ihre gegenseitige Begrenzung, sowie die Diskordanz zwischen oligocäner und miocäner Molasse, in Verfolg welcher die erstere auf letztere überschoben ist. Es wurde der merkwürdige gestaffelte Südrand als Begrenzung gegen die Alpen besprochen (1914): die südliche, Murnauer, Mulde (Faltenzug) schließt sich dabei gegen Ost zu vollkommen in der Nähe des Kochelsees und um ihre ganze Breite rückte der Alpenrand von Süden her bis zur mittleren (Penzberg—Haushamer) Mulde in den frei gewordenen Raum vor, ohne daß letztere in W—O-Streichungsrichtung irgendwie beeinflußt worden wäre; selbst die bisherige Störungslinie zwischen der südlichen und mittleren Mulde setzt sich ohne Ab-

<sup>1</sup> K. A. WEITHOFER, Die Entwicklung der Anschauungen über Stratigraphie und Tektonik im oberbayer. Molassegebiet. Geol. Rundschau. Bd. V. 1914. S. 65.

<sup>2</sup> K. A. WEITHOFER, Die Oligocänablagerungen Oberbayerns. Mitt. d. geol. Ges. Wien. Bd. X. 1917. Heft 1—2.

lenkung als nunmehriger Bruchrand zwischen der letzteren und den Alpen fort, bis auch diese mittlere Mulde in ihrer östlichen Erstreckung nicht weit vor dem Inntal in ähnlicher Weise sich regelmäßig schließt und wiederum der Alpenrand um ihre Breite bis zur nördlichen Mulde, vielmehr bis zur geradlinigen Fortsetzung der bekannten Störungslinie zwischen dieser nördlichen (Miesbach—Peißenberger) Mulde und der mittleren Mulde vorspringt.

Es wurde weiter versucht, sich ein Bild über die Entstehung dieser Vortiefe und ihres Schicksals zu bilden: die als Tatsachen vorgefundene Verhältnisse konnten nur dadurch einer Erklärung zugeführt werden, daß als Südufer des oligocänen Molassebeckens (demnach Nordsaum des damaligen Alpengebietes) ein langgezogener kristalliner Rücken angenommen wurde, an dessen Nordseite der Molassetrog sich bildete, der dann von Süden her über diesen Rücken ausgefüllt wurde. Von diesem Rücken mußten die vielen, sonst fremdartigen Gerölle stammen, die in der unteren oberoligocänen Molasse, der sog. Bausteinzone, zur Ablagerung kamen<sup>3</sup>; er mußte des weiteren von den von Süden her brandenden Alpenmassen überwältigt worden sein, wodurch erst die letzteren mit der Molasse direkt in Berührung traten; im weiteren Verfolge wurde die Molasse dann von ihnen von ihrer Unterlage aufgeschürft, in die erwähnten drei Faltenzüge zusammengestaucht und der nördlichste Faltenzug (nördliche Mulde) schließlich über den schon von GÜMBEL angenommenen unterirdischen vindelizischen<sup>4</sup> Rücken und auf die schon vorhandene miocäne Molasse hinübergeschoben, so daß an dieser Überschiebungsstelle auch noch die miocäne obere Meeresmolasse steil aufgerichtet erscheint.

Es wurde ferner konstatiert, daß die südliche Begrenzung der Molasse eine, obiger Anschauung entsprechende große Störungszone bezeichnete, an ihr jedoch überall nur ein Nebeneinander von alpinen Gesteinen und den Molasseschichten festzustellen ist.

Nach einer infolge der Ereignisse begreiflicherweise etwas stilleren Zwischenzeit brachten dann die 20er Jahre wieder eine recht lebhafte

---

<sup>3</sup> Wobei unter Hinweis auf die innige Verkettung mit den gleichzeitigen Ereignissen in den Alpen auf die Wichtigkeit eines eingehenden Studiums dieser von den Konglomeraten der miocänen Molasse so vollkommen verschiedenen Gerölle mehrfach hingewiesen wurde.

<sup>4</sup> Dazu sei hier schon bemerkt, daß GÜMBEL sein vindelizisches Gebirge hauptsächlich in vortertiärer (und eocäner) Zeit zur Scheidung der Gebiete mit alpiner und außeralpiner Entwicklung brauchte; im übrigen Tertiär war es jedoch nach ihm tief versenkt und funktionierte hier zur Zeit der Zusammenfaltung der Molasse nur noch als eine Art unterirdischen Widerlagers zur Erklärung der seitlichen Aufstauchung der oberen Meeresmolasse. Als Grenzwall oder Randschwelle zur Oberoligocänzeit, die damaligen Gewässer des Molassetroges gegen Süden begrenzend, hat es bei ihm jedoch niemals gedient und konnte nach obigem auch nie gedient haben.

Betätigung auf dem Gebiete unserer Molasse, behandelte aber nunmehr fast ausschließlich tektonische Fragen, vor allem solche im Zusammenhange mit den Alpen.

Die angeschnittene Geröllfrage wurde erfreulicherweise jetzt eifrigst aufgenommen, wenn sie auch vorläufig noch zu keinem übereinstimmenden Ergebnisse führte.

Zunächst veröffentlichte H. P. CORNELIUS<sup>5</sup> 1920 und 1923 seine, wie er selbst erwähnt, flüchtigen Beobachtungen hierüber: 90 % der oligocänen Gerölle sind danach Gangquarze; sie stammen aber ihrer geringen Größe und starken Abrollung wegen aus größerer Ferne, so daß auch nur die widerstandsfähigsten Gesteine übrigblieben. Er glaubt daher die Herkunft von einem vindelizischen Rücken der unmittelbaren Nachbarschaft ablehnen und solche in den Zentralalpen suchen zu müssen. Auch im Allgäu stammen die Gerölle vorwiegend aus den südlich vorgelagerten Alpen und sind nach ihrem Ursprung zum allergrößten Teile sicher ostalpin; auch der kleine Rest ist gleichen Ursprungs, oder es spricht wenigstens nichts dagegen. Es sei daher hier keine Stütze einer Herleitung von einem vindelizischen Gebirge vorhanden. Nur am Nordfuß des Grünten findet er in der dortigen Molasse Gerölle von Gneis, Milchquarz, Quarzporphyr etc., deren Herkunft aus den Zentralalpen wohl zu weit ist; er glaubt daher „vorläufig wohl am besten an einen heute hier abgewitterten ostalpinen Schubfetzen zur Erklärung dieses Vorkommens“ denken zu müssen; also zwar keine vindelizische Randschwelle, aber ein ebenso hypothetischer Schubfetzen zur Erklärung dieser exotischen Gerölle.

Außerordentlich eingehend beschäftigte sich aber K. BODEN<sup>6</sup> in mehreren ganz vorzüglichen Studien, so 1922, 1925, 1926, 1930, 1931, mit unseren Molassegerölle. In der jüngeren, der miocänen Molasse bestehen diese Gerölle danach „fast ausschließlich aus voralpinen und kalkalpinen Gesteinen“, die, aus dem Vorland kommend, über die damals noch ungefaltete ältere, oligocäne Molasse hinweggingen. Sie deuten hier auf lebhafte gleichzeitige Gebirgsbewegungen in den Alpen, denn „derartig gewaltige und stürmisch verlaufende

<sup>5</sup> H. P. CORNELIUS, Einige Bemerkungen über die Gerölle der bayer. Molasse. Verh. geol. St.-A. Wien. 1920. S. 161. — Derselbe: Beobachtungen über die Geröllführung der Molasse am Allgäuer Alpenrand. Ebenda. 1923. S. 183.

<sup>6</sup> K. BODEN, Über tektonische Fragen im bayer. Voralpengebiet. Dies. Cbl. 1922. S. 398. — Derselbe: Die Geröllführung der miocänen und oligocänen Molasseablagerung im südbayer. Alpenvorlande. Mitt. geogr. Ges. München. Bd. 18. 1925. S. 429. — Derselbe: Über die Entstehung und Bedeutung der oberbayer. Molasse. Dies. Cbl. 1926. S. 236. — Derselbe: Geol. Wanderbuch für die bayer. Alpen. 1930. S. 134 ff. — Derselbe: Beschaffenheit, Herkunft und Bedeutung des ostalpinen Molasse-schutt. Abh. geol. Landesanst. d. Bayer. Oberbergamtes. 1931. Heft 4.

Erosionswirkungen können nur durch weitgehende Umgestaltungen im Alpengebiete bedingt sein“.

Viel schwieriger ist nach ihm die Klärung der Herkunftsfrage der Gerölle der älteren, oligocänen Molasse, zumal dieses Material, im Gegensatz zu den überall gleich zusammengesetzten miocänen Konglomeraten, im westlichen Allgäu und Vorarlberg sehr verschieden ist von östlicheren Vorkommen, „insbesondere auch deshalb, weil die wesentlichsten und bezeichnendsten Bestandteile vom Südalpenrand und aus den inneralpinen Becken, nämlich die dunklen Dolomite, in den Kalkalpen und Voralpen fehlen. Ihre nächsten Verwandten wurden in der Grauwackenzone entdeckt“ (WINKLER, von der Hohen Salve und anderen Stellen). Immerhin ist aber die petrographische Beschaffenheit der Gesteine von der Hohen Salve nach seinen Untersuchungen doch zumeist eine weitaus andere als jene der oligocänen Molassegerölle; für BODEN stößt daher die Herleitung des gesamten dolomitischen und anderen exotischen Geröllmaterials der Angerbergschichten des Unterinntales und noch mehr die der gleichen Gerölle der oberbayerischen Molasse auf „erhebliche Schwierigkeiten“.

Auf Grund dieser Bedenken wird von ihm „entgegen obiger Theorie (WINKLER's) der Herleitung aus der Grauwackenzone vom südlichen Kalkalpenrand die Annahme einer nördlichen schuttliefernden Randschwelle bevorzugt“. Es liegt nach ihm dann auch weiter nahe, für die Aquitan-Sedimente des Inntaltroges als Ursprungsgebiet ebenfalls diese nördliche Randschwelle zu nehmen. In solchem Falle können die Angerbergschichten nicht als der „grabenförmig eingebrochene Abtragungsrest einer ausgedehnten Molassehülle“ angenommen werden, sondern die Sedimentbildung war hier bloß auf diese im Inneren des Gebirges eingesenkte Furche beschränkt. Ohne Voraussetzung dieser Randschwelle wäre „ein völlig eingeebnetes Kalkalpengebiet dabei Voraussetzung, über das die Schuttströme“ (d. i. aus der Grauwackenzone), „ohne sich in den Untergrund einzuschneiden, hinweggehen konnten“. Da Kalkalpen- und Voralpengerölle aber ganz zurücktreten, müßte nach ihm für diesen Fall eine über den Kalkalpen und Voralpen weit ausgebreitete Molassehülle angenommen werden; die Unterinntaler Ablagerungen der Angerbergschichten wären dann ein Rest davon in einem versunkenen Graben.

Im Gegensatz zu der miocänen Zeit findet er in den oligocänen Schuttmassen „nirgends die Zeugen großer, gebirgsbildender Ereignisse im Alpengebiete“ (1925), daher er nur eine einzige solche Phase im Oberen Miocän annimmt.

Im Widerspruch zu BODEN sieht A. WINKLER<sup>7</sup> das Vorkommen der Angerbergschichten als Grabenversenkung, umgrenzt von steilen

<sup>7</sup> A. WINKLER, Zum jungtertiären Entwicklungsbild der Ostalpen. Dies. Cbl. 1926. B. S. 110. — Derselbe: Zur Deutung der Geröllzusammen-

Randstörungen, an, deren Gerölle er alle, wie oben schon angedeutet, auf die Grauwackenzone südlich des Inntaler Tertiärs zurückführt. Wenn nach ihm BODEN vom Tauernkristallin nichts findet, ist dies sehr begreiflich, da solches damals wahrscheinlich noch völlig verhüllt war; erst im älteren Miocän begann die Freilegung desselben.

Die südliche Herkunft der Angerberggerölle hält er daher für sehr wahrscheinlich; gegen eine solche vom Norden her (Randschwelle) spricht vieles. Er sieht sich daher auch veranlaßt, die bereits oben für diesen Fall erwähnte Annahme einer „weitgehenden Verhüllung der Kalkalpen mit einer aquitanen Molassedekke als notwendig hinzustellen, von der aus nur der tektonisch eingeklemmte Streifen der Angerbergschichten und vermutlich die Augensteine des Kaisergebirges einen letzten Rest darstellen“. Unter diesen Umständen erscheint ihm „die von BODEN, LEBLING und SCHLOSSER betonte große Analogie in der Geröllzusammensetzung zwischen inneralpiner Inntalmolasse und bayerischer Randmolasse (Obere Süßwassermolasse<sup>8</sup>) ohne Zuhilfenahme weiterer Hypothesen verständlich“.

Also oberbayerische und Inntaler Molasse wären nach WINKLER als Teile einer einheitlichen Molassedekke anzusehen und hätten ihre Gerölle daher nicht von einer nördlichen Randschwelle, sondern von der inneralpinen Grauwackenzone bezogen, von der sie über diese angenommene ausgedehnte Molassedekke in die voralpine Senke eingetragen wurden.

Andererseits ist O. AMPFERER<sup>9</sup> allerdings wieder der entschiedenen Ansicht, daß „das Molassemeer seine Hauptschuttzufuhr etwa von einem Gebirgswalle erhält, welcher damals zwischen demselben und den heranwandernden Alpen“ gelegen war (vindelizisches Gebirge) und von den vorrückenden Alpen überschritten und begraben gedacht wird. Es liegt daher nicht unter der Molasse, sondern unter den heutigen Alpen (1923 und ähnlich auch 1924).

Da nach BODEN im westlichen Allgäu im oligocänen Gerölle eine starke Vermehrung der oberostalpinen Trias- und Juragesteine eintritt, müssen solche die Randschwelle hier außerordentlich viel mehr überschritten haben, was vielleicht darauf hindeutet, daß sie in dieser Gegend „wohl viel unbedeutender oder schon in einzelne Aufragungen zerteilt war“. Wir sahen oben, daß CORNELIUS vorzieht, sich mit der Annahme von Schubfetzen als Stützhypothese zu behelfen.

setzung der inneralpinen Inntalmolasse. Ebenda. 1928. B. S. 359. — Derselbe: Über Studien in den inneralpinen Tertiärlagerungen. Sitz.-Ber. Ak. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. Ab. I. Bd. 137. 1928. S. 183.

<sup>8</sup> Soll wohl „oberoligocäne Molasse“ heißen.

<sup>9</sup> O. AMPFERER, Über das Verhältnis von Aufbau und Abtrag in den Alpen. Jahrb. geol. Bundesanst. Wien. 1923. S. 121. — Derselbe: Über die Verwendung der Schuttausstrahlung zur Erklärung von Gebirgsverschiebungen. Ebenda. 1924. S. 117.

Mit dieser Behandlung der exotischen Gerölle der Oberen Oligocänschichten, sei es im oberbayerischen Vorlande, sei es inneralpin im Unterinntale, tritt uns schon auf das lebhafteste ein Teil der Frage nach der Struktur der Grenze zwischen Alpen und deren vorgelagerter Schuttablagerung, der Molasse, sowie deren Gestaltung und Schicksal zu jener Zeit entgegen.

Gleich zu Beginn unserer Ausführungen wurde der gestaffelten Südgrenze der Molasse Erwähnung getan. Die Versuche der Erklärung der zwei Staffeln brachten bisher die größten Schwierigkeiten. Der dazwischen liegende, nahezu geradlinige Störungsrand ist eine Stoßfläche mit wahrscheinlich wechselnder Neigung, wie dies bei ihrer fast saigeren Stellung nicht anders zu erwarten ist. Sie ist natürlich auch keine einfache Fläche, sondern eine ausgedehnte Störungszone. Sie ist daher auch nicht geeignet, an sich etwas zur direkten Beobachtung im Sinne von Deckenüberschiebungen beizutragen. Alpen- und Molassegestein liegt beiderseits dieser Störung stets nebeneinander, wie vom Verfasser schon früher darauf hingewiesen.

Auch BODEN kommt mehrfach auf diese Staffelung an der Loisach und bei Feilnbach zu sprechen; wenn er dies hier jedoch am einfachsten dadurch zu erklären versucht (1925, S. 486), daß „das Vordringen der Alpen nicht am Südrand der Oligocänmolasse zum Stillstand kam, sondern daß auch Teile der letzteren überschoben wurden, die ebenso wie die fremden Massen unter den Alpen verborgen liegen“ (und in gleicher Weise z. B. 1930 S. 122 oder 125; 1931 S. 2), so kann ihm hier wohl nicht gut Folge geleistet werden, denn nach heutiger Kenntnis überfuhrn die Alpen die oberbayerische Molasse nirgends.

Man müßte annehmen, daß die vordringenden Flyschmassen auf viele Kilometer überall und stets genau vor der unteren marinischen Molasse haltgemacht und den regelmäßigen, orographisch so scharf hervortretenden Muldenschluß der südlichen und mittleren Molassemulde (an der Loisach und bei Feilnbach) mit peinlichster Genauigkeit umrandet haben. Nirgends greifen sie über diese stratigraphische Linie gegen Norden hinüber.

Eine andere Ansicht vertritt anfangs CL. LEBLING<sup>10</sup>; nach ihm hebt sich die Murnauer Mulde gegen Osten zu heraus, so daß ihr Liegendes daher offenbar der Flysch des Zwieselstockes ist. „Das Verhältnis zwischen Molasse und Flysch vom Lech bis zur Salzach kann nur als Auflagerung der Molasse auf den Flysch gedeutet werden“, bemerkt er vorerst 1925 (S. 188), und da der Flysch den Kalkalpen aufliegt, so liegt die Molasse mittelbar den Kalkalpen auf. Und als praktisches Ergebnis bezeichnet er daher, daß „die

<sup>10</sup> CL. LEBLING, Molasse und Alpen zwischen Lech und Salzach. Zs. d. geol. Ges. 1925. S. 188. — Derselbe: Die paläogeographische Bedeutung der oberbayer. Molasse. Ebenda. A. 80. Bd. 1928. S. 516.

Pechkohle der Molasse südlich der sichtbaren Molassegrenze nicht mehr gefunden werden kann“. Unter den Kalkalpen ist sie nicht mehr vorhanden. Dagegen nimmt er 1928 als Korrektur dieser seiner Ansicht an, daß die Molasse an ihrem Südrand von den Alpen tektonisch nicht abgesunken, sondern an einer steilen Überschiebung auf die Alpen gehoben sei, und zwar erfolgte dies an zwei Flächen: Am Südrand der Murnauer Mulde und an deren Nordrand (der sich dann im weiteren östlichen Verlaufe als Alpenrand fortsetzt), welche beide sich nach ihm östlich des Muldenschlusses der Murnauer Falte vereinigen. „Am Treffpunkt (dieser Linien) erfolgt die stärkste Hebung der von beiden eingeschlossenen Mulde.“ Und diese letztere „muß sich also auch östlich unter dem Flysch (und seiner helvetischen Unterlage) fortsetzen als ungehobenes Äquivalent der gehobenen Mulde“. Die Verbreiterung der Flyschzone sei daher hier „nicht, wie TROLL glaubt, mit einer Vorstaffelung des Flysch“ in Zusammenhang zu bringen. Es folgte daraus auch, daß der Flysch ebenso über der Murnauer Mulde nur deshalb fehlt, weil er dort abgetragen ist.

Schon vor LEBLING's letzter Arbeit mit seinen abgeänderten Ansichten betont M. RICHTER<sup>11</sup> 1926 einen ähnlichen Gedanken, wie den zuletzt (und früher von BODEN) erwähnten: Teile der Molasse befinden sich unter den Alpen; „niemals hat die Molasse auf dem ostalpinen Flysch gelegen, sie liegt heute darunter, von diesem über-schoben“ (S. 356). Und speziell die Verhältnisse bei der Murnauer Mulde betreffend: „die östliche Fortsetzung der Murnauer Mulde ... liegt nicht in der Luft, sondern unter den Alpen, zu diesem Schluß kommt ebenfalls BODEN in seiner schönen Molassearbeit.“ Die tonigen Schichten der Unteren Meeressmolasse greifen als Schmiermittel noch weit unter die Alpen.

Das gleiche wiederholt er auch 1927, wobei er auf die Gleichheit des Vorganges auch bei Feilnbach im Inntal, im Osten des mittleren Faltenzuges der Molasse hinweist. Wie ein Jahr später LEBLING erwähnt auch er, daß östlich des Lech der Zusammenstoß zwischen Alpen und Molasse an einer sehr steilstehenden Grenzfläche erfolgt. Im Allgäu dagegen sei es eine klare Überschiebung; allerdings ist die Stoßfläche hier nur steil nach Süden fallend, wie schon von anderen, z. B. TORNQUIST, konstatiert; auf deren Bedeutung wird später zurückgekommen. Was den äußersten Osten betrifft, fährt er in konsequenter Durchführung fort, ist hier (nach dem Verschwinden auch der Nordmulde) „nicht anzunehmen, daß die oligocäne Molasse hier nicht zur Ablagerung gekommen ist; ich möchte daher glauben, daß sie unter den Alpen überschoben ist“.

<sup>11</sup> M. RICHTER, Beiträge zur Stratigraphie und Tektonik der subalpinen Allgäuer Molasse. Geol. Rundschau. 1926. Sonderband. S. 317. — Derselbe: Molasse und Alpen. Zs. d. geol. Ges. 1927. S. 124.

Auch K. TROLL<sup>12</sup> bekämpft LEBLING's ursprüngliche Anschauung von 1925 mit der These, „daß der Flysch nicht unter der Molasse fortgesetzt werden kann“ (S. 37), kommt aber andererseits zu dem Ergebnisse, daß „für eine Überschiebung des Flysch—Kreidegebirges über die Molasse nirgends eine Beobachtung bekannt geworden ist“ (S. 48).

Die Grenzstaffel der Murnauer Mulde, deren Studium diese Schrift besonders gewidmet ist, erklärt er durch ein horizontales Vorstaffeln des Flyschzuges unter einem schiefen Winkel von etwa 25° (S. 38). Diese schrägen Blattverschiebungen an dieser Stelle „setzen sich zwar lückenlos vom Flysch in die Kalkalpen fort, stoßen aber andererseits am Rande der Molasse scharf ab. Sie dürfen sich aber auch gar nicht in die Molasse hinein fortsetzen, denn einzig und allein der Ausfall der Molassemulde soll ja den Grund für ihr Auftreten bilden“ (S. 45). Damit lehnt er hier eine Überlagerung des Flysches auf die Molasse ab, und läßt die Grenzstaffel nur durch einen horizontalen Schub der Flyschgesteine entstehen, der danach westlich der Loisach die vorhandenen oligocänen Ablagerungen, der Murnauer Mulde entsprechend, zu dieser Mulde zusammenschiebt, östlich der Loisach jedoch den Flysch mangels solcher oligocäner Sedimente an dieser Stelle in schrägen Blattverschiebungen sozusagen im Leeren bis zu der südlichen Störungsgrenze der Mittleren Molassemulde und der Alpen vorstoßen läßt.

Das Störende dabei ist nur, daß all die Vorgänge sich abgespielt haben sollen, ohne die genannte geradlinig verlaufende Bruchlinie und den ganzen ungestörten Verlauf der mittleren Mulde auch nur im geringsten zu beeinträchtigen, trotzdem die erwähnten Blattverschiebungen gegen sie gerichtet waren.

Übrigens scheint sich auch ARNOLD HEIM<sup>13</sup> dieser Anschauung über die Vorgänge an dieser Murnauer Staffel angeschlossen zu haben. Er erwähnt die trotz der Blattverschiebung TROLL's „erstaunliche Regelmäßigkeit“ in dem ruhigen Fortstreichen der Penzberg—Haushamer Mulde und knüpft daran die Bemerkung: „Nur durch alte Erosion vor dem letzten Vorstoß der Alpendecken läßt sich nach der Ansicht des Verfassers (HEIM's) diese Tatsache ungezwungen erklären.“ Und Ähnliches gilt nach ihm auch für den Muldenschluß am Inn und zwischen Traun und Salzach. „So sehen wir, daß die Lokaltektonik der Alpendecken vom vorgelegten Oligocärrand beeinflußt wird, während umgekehrt ein Einfluß der einzelnen Alpenschubdecken auf die Lokaltektonik der Molasse nicht zu erkennen ist“ (S. 78).

<sup>12</sup> K. TROLL, Bau und Entstehung der bayerischen Alpenränder. Zs. d. geol. Ges. 1926. A. 78. Bd. 1926. S. 35.

<sup>13</sup> A. HEIM, Über Bau und Alter des Alpennordrandes. Ecl. geol. Helv. Vol. XI. Nr. 1. 1928. S. 73.

Was die Gerölfrage betrifft, hält HEIM an anderer Stelle<sup>14</sup> noch zahlreiche Untersuchungen nach Art jener von CORNELIUS und BODEN für nötig, um „zuverlässige Rückschlüsse auf die orogenetische Gestaltung des Alpenrücklandes zu ziehen“.

Damit können wir wohl die wichtigsten Ergebnisse der Arbeiten etwa des letzten Jahrzehnts über unseren Gegenstand überblicken. Es hat sich gezeigt, daß die vorhandenen Probleme zu den verschiedenartigsten, einander oft genug vollständig widersprechenden Erklärungen geführt haben.

Leider sind daher die positiven Gesamterkenntnisse dieser Studien auf dem Gebiete unserer oberbayerischen Molasse eigentlich wenig befriedigend zu nennen mit Hinsicht darauf, daß sie zu keinem feststehenden neuen Ergebnisse geführt haben, das nunmehr weiterhin leitend sein könnte. Vielleicht sind sie auch etwas zu sehr in den ausschließlichen Gesichtswinkel der Alpengeologie geraten.

In der Frage der Randschwelle hat sich hierbei BODEN, der die Gerölle der oberbayerischen Molasse wohl am eingehendsten und erfolgreichsten studiert hat, auf Grund der Ergebnisse dieser seiner Untersuchungen nachdrücklichst für die Notwendigkeit der Annahme einer solchen, wie der Verfasser dies bereits 1917 getan hat, ausgesprochen; auch AMPFERER sieht sich zu gleichem Vorgehen veranlaßt. WINKLER steht hingegen, freilich hauptsächlich unter dem Gesichtspunkt der Vorkommen im Unterinntal, einer nördlichen Randschwelle ablehnend gegenüber, sieht sich allerdings dabei veranlaßt, als Hilfshypothese eine weitgehende deckenförmige Überlagerung der Molasse über die Kalkalpen einzuführen und damit eine noch bedenklichere Sache mit in Kauf zu nehmen.

Desgleichen gibt die heutige Störungsgrenze zwischen Molasse- und Alpen Anlaß zu ganz wesentlich verschiedenen Anschauungen über die damaligen Zustände und Voraussetzungen zu ihrer Entstehung: Einerseits sollen die nördlichsten Alpenschubdecken die Molasse überfahren haben, und letztere daher auch unter diesen zu suchen sein (RICHTER, BODEX), andererseits soll die Molasse über ihnen abgelagert worden sein (WINKLER, LEBLING p. p.), ehe in beiden Fällen die große Randstörung den Zusammenhang unterbrach. Wieder andere (TROLL) ziehen Deckenüberschiebungen überhaupt nicht heran, wie ja auch der Verfasser selbst nach dem Tatsachenmaterial im Bereich der Molasse bisher stets nur ein Nebeneinander erkennen konnte. Zu einer Korrektur dieser seiner Ansicht liegt daher vorerst kein zwingender Grund vor.

In meinen beiden anfangs erwähnten Veröffentlichungen vom Jahre 1914 und 1917 wurde auch auf die bemerkenswerte Tatsache hingewiesen, daß die stratigraphische Zusammensetzung der ein-

<sup>14</sup> ARN. HEIM, Die südalpine Molasse im westlichen Allgäu. *Vierteljahrsschr. naturf. Ges. Zürich.* Bd. 73. 1928. S. 44.

zernen Mulden sich von Süd nach Nord erheblich ändert. Es nehmen in dieser Richtung immer jüngere Schichtelemente an ihrem Aufbau teil. Der heutige Querschnitt unserer Kartenbilder zeigt das aufs deutlichste. Ursprünglich waren die jüngeren Komponenten auch im Süden im großen und ganzen sicher ebenso vertreten. Von Süden nach Norden werden die drei Muldenzüge jedoch immer tiefer, wie schon aus den 1902 vom Verfasser veröffentlichten Profilen<sup>15</sup> nach sinngemäßer Ergänzung insbesondere der nördlichen Mulden wohl klar hervorgeht, so daß diese jüngeren Elemente im Süden abgetragen, im Norden aber in der Muldenmitte noch vorhanden sind.

Eine ähnliche Erscheinung kann aber auch, wenn schon in einem viel langsameren Verlauf, in der Streichrichtung von Ost gegen West festgestellt werden; auch in dieser Richtung sind im allgemeinen gegen West zu jüngere Schichtenglieder in der Muldenmitte noch erhalten. Es ist das ja gemäß der Tatsache, daß die Muldenzüge gegen Ost zu sich schließen und zutage ausstreichen, nicht anders zu erwarten.

Es folgt daraus demnach eine allgemeine Senkung der Mulden gegen Norden, sowie eine Hebung ihrer Achsen gegen Osten.

Die Hebung, überhaupt Verschwächung, gegen Ost hängt wohl zweifellos mit der nach dieser Richtung allgemein zunehmenden Einengung des Molasseraumes infolge des Umstandes zusammen, daß zwischen den vorrückenden Alpen und der feststehenden böhmischen Masse der Platz räumlich und zeitlich immer beschränkter sich gestaltet, daher die Molasse hier in irgendeiner Weise abgequetscht oder sonst reduziert erscheint. Die gleichen Einflüsse mit im allgemeinen gleichgerichteter Tendenz konnten hier an dieser für die Molasse so kritischen Stelle nach meinen früheren Darstellungen (z. B. 1917, S. 59 ff.) ja schon seit Abschluß der Ablagerung der unteren marinen Molasse beobachtet werden.

Wie diese allmähliche Abschnürung im Detail erfolgte, ist zunächst noch unklar: Ob sie schließlich durch seitlichen Druck gänzlich abgequetscht wurde, ob sich durch allmähliche Emporhebung ein ähnlicher Molasseschluß bildete, wie an der Loisach oder bei Feilnbach im Innbecken, hier dann mit gänzlicher Abrasion des emporgedrängten Ostteiles, oder sonstwie, mag daher augenblicklich dahingestellt bleiben.

Es kann ja nicht ausgeschlossen werden, daß füglich auch schon die zwei genannten Muldenabschlüsse mit dieser allgemeinen und allmäßlichen Unterdrückung von West gegen Ost zusammenhingen und derart auch als ein Analogon für das östliche Ende der Molasse vielleicht gewertet werden dürfen.

<sup>15</sup> K. A. WEITHOFER, Einige Querprofile durch die Molassebildungen Oberbayerns. Jahrb. k. k. geol. Reichsanst. Wien. 1902. Bd. 52. S. 39.

Und wie die Molasse in dieser Richtung ein stetiges Ansteigen erkennen läßt, so andererseits in südnördlicher Richtung ein immer tieferes Absinken in den querschlägig aufeinanderfolgenden Mulden.

Einige Zahlen mögen dies verdeutlichen. Sie sind des Vergleiches wegen alle einheitlich auf die Tiefenlage der Oberseite der Unteren Meeresmolasse („Normalpunkt“ im folgenden genannt) gerechnet, daß die Unterlage dieser letzteren ja nicht bekannt ist<sup>16</sup>. Daß diese Rechnung keinen Anspruch auf Genauigkeit erheben kann, ist wohl selbstverständlich, wenn sie auch zumeist auf bergmännischen Aufschlüssen irgendwie beruht.

Im Meridian von Penzberg (Loisachtal) liegt dieser Normalpunkt in der nördlichen Mulde (Nonnenwaldmulde) etwa — 1700 bis — 1800 m unter dem Meeresspiegel („Nullpunkt“); in der mittleren (Penzberger) Mulde etwa — 1300 bis — 1400 m unter Nullpunkt. Der Ausstrich der südlichen (Murnauer) Mulde liegt zwar etwa 4 km westlich des Penzberger Meridians, er entspricht zugleich aber auch etwa dem Ausstrich der unteren marinen Molasse, also dem Normalpunkt, man kann ihn daher hier wohl auch in Vergleich mit den beiden anderen Normalpunkten setzen. Er ist dann ungefähr + 600 m oder etwas mehr über Nullpunkt gelegen.

Das Schichtenprofil läßt sich hier mit einiger Zuverlässigkeit abnehmen; es dürfte in seiner Mächtigkeit vom Normalpunkt bis über die Promberger Schichten (zunächst ohne die darüber anderswo noch folgenden, hier aber in der Muldenmitte nur angedeuteten brackischen Heimbergschichten = ca. 200 m) etwa 2400 m betragen; dazu kämen außerdem dann für die Gesamtmächtigkeit der Molasse in der Penzberger Gegend noch die untere marine Molasse mit ca. 500 m.

Im Meridian von Tölz (Isartal) ist die Berechnung des Normalpunktes schon unsicher; es muß daher das Schichtenprofil von Penzberg zur Ergänzung herangezogen werden, was der geringen Entfernung wegen vielleicht ohne allzugroße Fehler möglich ist. Der Normalpunkt läge demzufolge hier im Nordmuldenzuge (oberer Glassand ist als höchstes Niveau aufgeschlossen) in einer Tiefe unter Nullpunkt von — 1200 bis — 1300 m. Der Normalpunkt der mittleren Mulde hat sich indes zufolge des streichenden Sattelaufbruches bis zutage gehoben und liegt da in etwa + 650 m über Nullpunkt. Die neue Mulde des gleichen Zuges (Haushamer) sinkt ostwärts langsam wieder zur Tiefe.

Im Meridian von Hausham (Schlierachatal) kann der Normalpunkt in der nördlichen (Miesbacher) Mulde mit ca. — 650 m unter Nullpunkt angenommen werden, in der mittleren (Haushamer) Mulde bei ungefähr — 250 m unter Nullpunkt. Die Mächtigkeit der

<sup>16</sup> Die untere marine Molasse dürfte jedoch in Oberbayern eine Mächtigkeit von mindestens 5—600 m haben.

Schichten ist nach jener von Hausham und Miesbach zu kombinieren, sie dürfte etwa 1300—1400 m betragen, wozu noch die untere marine Molasse mit ca. 600 m mindestens kommt, sowie im benachbarten Leizachtal die Promberger und Heimberger Schichten mit etwa 400 m.

In der Gegend von Au bei Feilnbach (Westrand der Innenbene) dürfte, nach Hausham geschätzt, die Tiefe des Normalpunktes unter dem Nullpunkt etwas geringer sein als in Miesbach, etwa 500—600 m. Dagegen tritt hier der mittlere Muldenzug, orographisch scharf abgehoben, zutage aus, und unser Normalpunkt liegt hierbei in etwa + 700 m über dem Nullpunkt.

In der Gegend von Peißenberg (Ammertal), westlich von Penzberg, ist die Schätzung nicht mehr gut möglich, da keine Anhaltspunkte vorliegen, Penzberg zu weit ist und die Verschiedenheiten der Ablagerungsmächtigkeiten daher groß sein können. Sie wären sonst sehr erwünscht, da hier alle drei Muldenzüge entwickelt sind. Höchstens in der nördlichen (Peißenberger) Mulde könnte der Normalpunkt nach den von GILLITZER veröffentlichten, aber in der Tiefe wohl auch nur angenommenen Profilen mit vielleicht etwa — 2000 bis — 2200 m unter dem Nullpunkt angesetzt werden, also erheblich tiefer als im östlich benachbarten Penzberg.

Tabellarisch zusammengestellt, ergibt sich daher folgendes Bild für die Lage unseres Normalpunktes (Oberfläche der unteren marinen Molasse) im Verhältnis zum Meeresniveau (Nullpunkt):

	Peißenberg (+ 600 m)	Penzberg (+ 620 m)	Tölz (+ 650 m)	Hausham (+ 760 m)	Au (+ 500 m)
m unter (oder über) Meeresniveau					
Nordmulde	— 2000	— 1700	— 1200	— 650	— 500
mittlere Mulde	bis — 2200	bis — 1800	bis — 1300		bis — 600
	seichter	— 1300	+ 650	— 250	+ 700
		bis — 1400			
Südmulde	?	+ 600	—	—	—

Im Süden, der oberbayerischen Molasse benachbart, zieht sich der Nordrand der Alpen (meist Flysch, auch helvetische Kreide) mit einer Erhebung von etwa 1000—1200 m (im Zwiesel mit 1350 m, im Hörnle sogar mit 1549 m).

Es geht aus dieser Zusammenstellung hervor, daß die mittlere Mulde mit ihrem „Normalpunkte“ stets erheblich höher liegt als die nördliche; aber nach allgemeiner Schätzung ebenso bedeutend tiefer als die südliche. — Die Mächtigkeit der unteren marinen Molasse ist nicht bekannt; nimmt man hierfür nach Aufschluß nur 500—600 m an, so steigen die Mulden um diesen Betrag noch tiefer herab.

Was ergibt sich nun aus diesen verschiedenen Höhenlagen für ein Bild entsprechend den im Vorangehenden erwähnten tektonischen Theorien über die Lagerung der Molasse zu den Gebirgsschichten des Alpenrandes?

Wenn wir WINKLER's und LEBLING's erste Annahme, daß die Molasse auf dem Flysch gelegen hätte, in Betracht ziehen, so sehen wir den Flysch am Alpenrande (selbst ohne zwischenzeitliche Abtragung gerechnet!) mit einer heutigen Seehöhe von ca. 1200 m, und unmittelbar daneben in der mittleren Mulde die Basis der Molasse, z. B. bei Penzberg, etwa in — 1850 m Tiefe unter Seehöhe (d. i. — 1350 m, dazu noch — 500 m für untere marine Molasse), daher im ganzen eine Niveaudifferenz von etwa 3000 m, um welche die altersgleichen Sedimente auf dem Alpenrande höher gelegen wären als in der benachbarten Molassemulde bei Penzberg; in Hausham, der Tabelle entsprechend, um ca. 1000 m weniger, also etwa 2000 m Höhenunterschied.

Auf der Grundlage anderseits einer Überfahrung der Molasse durch den Flysch oder im allgemeinen durch das Paket der in Frage kommenden Alpenranddecken, für welch letztere vielleicht mit einer Mächtigkeit von etwa 2000 m mindestens gerechnet werden kann, ergibt sich, daß bei Penzberg die Basis der Molasse etwa in 1800 bis 1900 m unter Nullpunkt liegt, während sie unter dem unmittelbar benachbarten Flysch (resp. Deckenpaket) eine Tiefe von etwa — 3900 m erreichen würde  $[(2000 \text{ m} - 1200 \text{ Seehöhe}) + 3100 \text{ m Molasse}]$ , was also eine Differenz von rund 2000 m ergäbe, um die die Basis der Molasse unter dem Alpenrand (überfahren vom Flysch) tiefer läge als in dem mittleren Muldenzuge nebenan in der Penzberger Gegend.

Für Hausham kann man einen noch größeren Niveaunterschied errechnen, da hier die Basis der Molasseschichten in der Mittelmulde an sich viel höher liegt, daher eine Differenz von etwa 2300 m sich ergibt.

Es ist selbstverständlich, daß diese Zahlen, wie erwähnt, aus naheliegenden Gründen keinen Anspruch auf Genauigkeit machen können, auch ist auf eine vielleicht stärkere Zusammendrückung keine Rücksicht genommen. Immerhin mögen sie doch einen Anhaltspunkt über die außerordentlichen Niveaunterschiede geben, die bei den genannten tektonischen Annahmen auf sehr geringe querschlägige Entfernung unmittelbar am Alpenrande in Frage kommen.

Bei Voraussetzung einer Überfahrung der Molasse durch den Flysch haben wir im Süden daher zuerst die Molasse unter ihm in ca. 3000—4000 m anzunehmen, dann gegen Norden fortschreitend, ca. 2000—2500 m höher zwischen zwei Bruchflächen gelegen, einen vom Schluß der Murnauer Mulde an gegen Osten etwa 45 km langen und nur ca. 3 km breiten Horst (entsprechend dem mittleren Muldenzuge), dann eine ebenso lange, oder wenn man noch Peißenberg dazu

nimmt, sogar an die 80 km sich erstreckende Absenkung um etwa 400 m auf eine Breite von wieder nur 3 km (= nördlicher Muldenzug). Was jenseits der großen nördlichen Überschiebung der oligocänen Molasse auf das Miocän gegen Norden zu liegt, hängt von der Stellung zu GÜMBEL's vindelizischem Rücken ab. Er hat manchen Gegner. War er nicht vorhanden, so haben wir über unsere nördliche Mulde hinaus die oligocänen Schichten, zusamt den Pechkohlenflözen, zu noch größerer Tiefe abgesunken zu betrachten. Es scheint aber doch für den Rücken zu sprechen, daß die nördlichste Mulde stets die tiefste und meist auch breiteste ist, auf die dann gegen Norden plötzlich, fast ohne jeden Übergang, die flach gelagerten Schichten der miocänen Molasse folgen. Jedes Abklingen der Pressung fehlte dann.

Es dürfte nach dieser Darstellung kaum befriedigen, einen solchen tektonischen Aufbau mit dem dann sich ergebenden, gewaltig aufragenden und so langgestreckten Horste des mittleren Faltenzuges ohne zwingenden Grund anzunehmen. Es erscheint deshalb wohl außerordentlich wenig wahrscheinlich, daß eine Überfahrung der Molasse durch die oberostalpinen Randdecken zur Deutung des geologischen Aufbaues herangezogen werden kann. Nichts deutet auch unter den bisherigen Beobachtungen in Oberbayern auf eine solche Gestaltung hin; alles dagegen darauf, daß die Molasse einfach durch die vorrückenden Alpengebirgsschichten vom Untergrunde aufgepflügt und, allmählich in Falten geworfen, bis zu ihrer heutigen Lage vor sich hergeschoben worden ist.

Die Störungslinie zwischen Molasse und Alpen bedeutet daher diesen einfachen Schubkontakt und im allgemeinen weder Abbruch noch Überfahrung. Sie wird im großen und ganzen saiger stehen, wobei zufolge ihrer Entstehung eine stellenweise nördliche oder südliche Neigung von vornherein zu erwarten sein wird, vollkommen entsprechend den tatsächlichen Befunden.

Der Vorschub der Molasse muß jedoch über einen erheblichen Transportweg erfolgt sein. Die Molassesedimente waren doch ursprünglich flach gelagert. Eine Ausehnung derselben zum Zwecke der Konstruktion der Breite ihres ehemaligen Beckens kann nach unserer Auffassung nur von der Stelle der nördlichen Oligocän-überschiebung über das Miocän (GÜMBEL's vindelizischer Rücken) gegen Süden ausgedehnt werden<sup>17</sup>. Das Südufer dieses Beckens muß dann zur Sedimentationszeit sicher nahe der heutigen Tiroler Grenze gelegen haben. Das Becken selbst hat sich dabei von Ost gegen West in südlicher Richtung verbreitert; vielleicht waren selbst die zwei Stufen schon durch entsprechende Ausbuchtungen vorbereitet. Denn in der Nähe des Traunflusses ist die Breite der heutigen oligocänen Molassezone nur etwa 2½ km, bei Prien, südlich

<sup>17</sup> Vgl. die Ausführungen des Verfassers 1917, S. 118 u. ff.

des Chiemsees, etwa 4 km, westlich davon bei Feilnbach am Westrand der Innebene etwa 5 km, sie wächst bei Hausham auf 7—8 km, bei Peißenberg auf 15 km, um bei Kempten an der Iller schon ca. 17 km zu erreichen.

Hier, an diesem Südufer, muß der von uns in Oberbayern angenommene kristalline Rücken gelegen sein, der sich daher von der Traun an westwärts immer mehr schräg gegen Süden zu herabzog. Es entspräche diese weit nach Süden geschobene Lage desselben ebenfalls der Anschauung AMPFERER's, der eine solche auch von ihm angenommene kristalline Randschwelle nicht unter die Molasse, sondern unter die heutigen Alpen verlegt. Es hindert nichts, mit BODEN nach dessen Geröllestudien anzunehmen, daß dieser Rücken sich über Oberbayern hinüber gegen West immer mehr senke und schließlich untertauche, oder sich in einzelne isolierte Emporragungen auflöse, damit im Allgäu der Mangel der östlichen kristallinen Gerölle und das Auftreten solcher der oberostalpinen Decken sich erklären würde.

Das nun frühestens Ende der Miocänzeit in breiter Front erfolgende Vordrägen der Alpen gegen Nord traf im Westen zuerst, und bei bedeutenderer Nord—Süderstreckung, die Molasseablagerungen, die beim beginnenden Vorschub daher hier, mit dem Süden beginnend, zunächst in Falten gelegt wurden. Bei dem weiteren Vorrücken der Alpen verbreiterte sich gegen Ost zu die Berührungsfläche zwischen diesen und dem sich in dieser Richtung allmählich nach Nord verschiebenden Molasserrand immer mehr. Immer weiter griff damit die Faltung gegen Ost um sich, und wenn die erste, südlichste Falte für ihren Zusammenhalt schon zu breit geworden war, blieb sie mit einem Muldenschluß liegen und eine nördlich von ihr schon entstandene zweite setzte sich nun auch weiter östlich als nunmehr südlichste fort. Durch diese Art des Zusammenstoßes und Vorschubes kann ganz gut auch die so auffallende Staffelung des Molassesüdrandes mit je einem Muldenschluß entstanden gedacht werden.

Daß im äußersten Osten die Molasse unter dem Flysch, von diesem überfahren, verschwinden sollte, ist nach obigem sehr wenig wahrscheinlich; der ganze charakteristische Bau der Molasse spricht entschieden dagegen. Sie hebt sich nach Osten zu immer mehr heraus; höchstens daß sich eingeklemmte Fragmente noch finden könnten. Denn die Ablagerung ist nach Österreich hinüber zweifellos weitergegangen, sie litt hier nur sehr erheblich unter der schweren Quetschung zwischen dem heranbrandenden Alpengebirge und der starren böhmischen Masse.