

Das heutige geologische Bild des deutschen Alpenvorlandes nach drei Jahrzehnten Öl- und Gasexploration

Autor(en): **Lemcke, Kurt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **74 (1981)**

Heft 1

PDF erstellt am: **22.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-165086>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Eclogae geol. Helv.	Vol. 74/1	Seiten 1–18	12 Textfiguren	Basel, März 1981
---------------------	-----------	-------------	----------------	------------------

Das heutige geologische Bild des deutschen Alpenvorlandes nach drei Jahrzehnten Öl- und Gasexploration¹⁾

Von KURT LEMCKE²⁾

Herrn Prof. Dr. FERDINAND NEUMAIER (München) zum 75. Geburtstag gewidmet

ZUSAMMENFASSUNG

Die paläogeographische und tektonische Entwicklung des deutschen Alpenvorlandes seit dem Oberkarbon wird in ihren Hauptzügen geschildert. Den Abschluss bilden kurze Mitteilungen über Funde, Produktion und Mutterformationen von Öl und Gas sowie über Folgen der Druckabsenkung im gespannten Malmkarstwasser unter Molasse und Kreide.

ABSTRACT

The main paleogeographic and tectonic events having occurred in the German Alpine Foreland since the upper Carboniferous are reviewed including some short informations on strikes, production and source rock formations of oil and gas and on consequences caused by the reduced pressure in the entrapped Malm karst water below Molasse and Cretaceous.

Vorwort

Im Sommer 1948 begann im süddeutschen Alpenvorland die systematische Suche nach Öl und Gas, in einem Gebiet also, von dem man damals nicht viel mehr wusste, als dass es sich um den mittleren Teil der nach Süden zum Orogen hin immer tiefer werdenden subalpinen Vorsenke handle, gefüllt mit bis zu mehreren 1000 m mächtigen, im Westen mehr terrestrischen, im Osten mehr marinen und am Gebirgsrand im Süden gefalteten Tertiärsedimenten auf einer mesozoischen Unterlage. Seitdem sind hier von der deutschen Erdölindustrie über 600 Tiefbohrungen bis fast 6000 m Tiefe niedergebracht und Tausende von Profilkilometern Reflexionsseismik vermessen worden, die u. a. zu einem einigermaßen abgerundeten Bild vom Werdegang und inneren Bau dieses Vortiefenabschnitts geführt haben.

1. Paläogeographie

Früheste Zeugen von dessen sedimentärer Geschichte sind Oberkarbon und Rotliegendes, die in einigen ziemlich schmalen, in den paläozoischen Sockel aus

¹⁾ Nach einem Vortrag auf der Jahresversammlung der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft in Winterthur am 16. Oktober 1980.

²⁾ Fritz-Reuter-Strasse 19a, D-8000 München 60.

Gneis und Granit eingesenkten Trögen erhalten geblieben sind (Fig. 9); in der Bohrung Giftthall 1 östlich München wurde in einem solchen Trog auch unterer Zechstein nachgewiesen, der zu einem südlichen Ablagerungsraum gehört (LEMCKE 1978a, S. 28). Über die postpermische Landoberfläche, das vielzitierte, nun langsam absinkende «Vindelizische Land», transgredieren sodann ab Buntsandstein von Westen und Nordwesten her sukzessive mit immer jüngeren Stufen Trias und Jura germanischer Fazies (Fig. 1), die nur im Malm ganz im Süden in die bituminöse alpine (helvetische) Ausbildung des Quintner Kalks übergeht (LEMCKE 1973). Dieser Prozess endet mit dem Malm, mit dem die völlige Eindeckung des alten Festlandes – bis fast Linz/Oberösterreich – durch mesozoische Sedimente zum Abschluss gelangt. Schon frühzeitig, mit ersten Andeutungen bereits im Mittelkeuper, kommt es dabei in Ostbayern zwischen Landshut und der Salzach zur Herausbildung einer NW-SE streichenden Hochzone, des heutigen Landshut-Neuöttinger Hochs (Fig. 2). Es ist als Bruchschollenkante der nach Südwesten herausgekippten niederbayerischen Pultscholle, einer Vorstaffel des Bayerischen Waldes, anzusehen (LEMCKE 1972, S. 30). Auf seinem Kristallin und Paläozoikum fehlt heute – primär oder durch Abtragung – das Mesozoikum; die Sprunghöhe seiner grösstenteils vortertiären Randstörung gegen Südwesten kann man stellenweise auf > 1300 m veranschlagen (LEMCKE 1978a, S. 42; MÜLLER 1978, S. 138).

Am Ende des Malms zieht sich das Meer aus dem Alpenvorland nach Süden und Südwesten in Richtung Tethys zurück. Dabei macht sich östlich München im Westteil der sich schon im Prä-Malm andeutenden Ostbayerischen Randsenke (ELBERSKIRCH & LEMCKE 1955, LEMCKE 1973, S. 10) als «Wasserburger Trog» (OSCHMANN 1963, S. 7) ein partielles Senkungsgebiet bemerkbar, in dem die Reste des abziehenden Malm-Meeres die anfangs evaporitisch-salinaren, dann aussüssen-

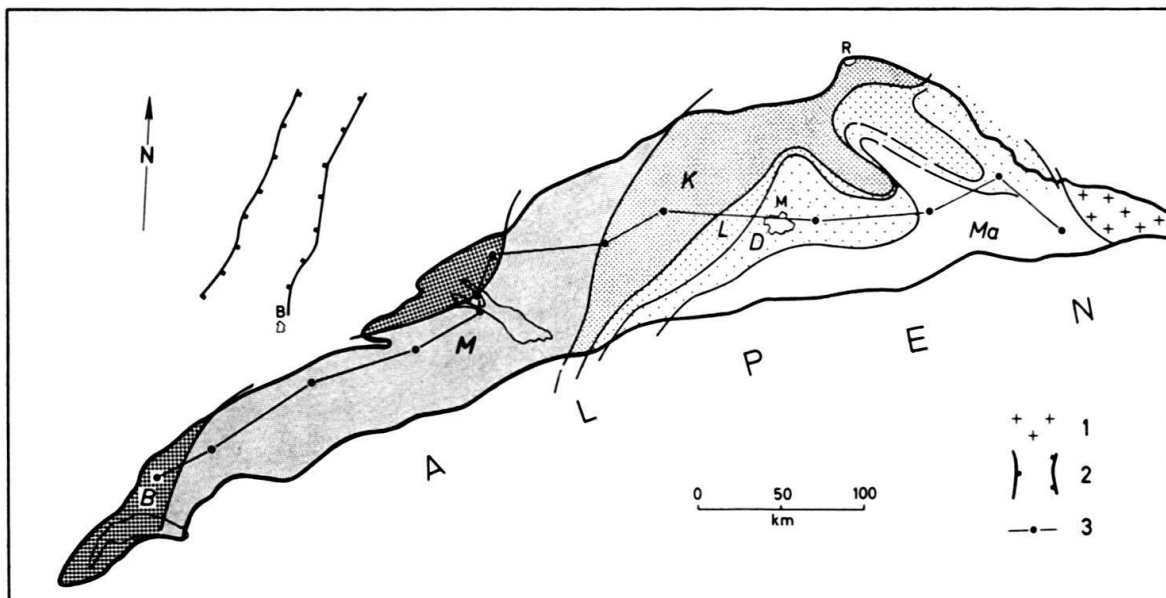


Fig. 1. Die von Westen nach Osten fortschreitende, sukzessive Überwältigung des Vindelizischen Landes im Untergrund des Molassebeckens (B: im Buntsandstein, M: im Muschelkalk, K: im Keuper, L: im Lias, D: im Dogger, Ma: im Malm). – 1 = verbleibendes Festland im Malm, 2 = heutige Randbrüche des Oberrheingrabens, 3 = Profilinie; B = Basel, M = München, R = Regensburg (aus LEMCKE 1974, Fig. 3).

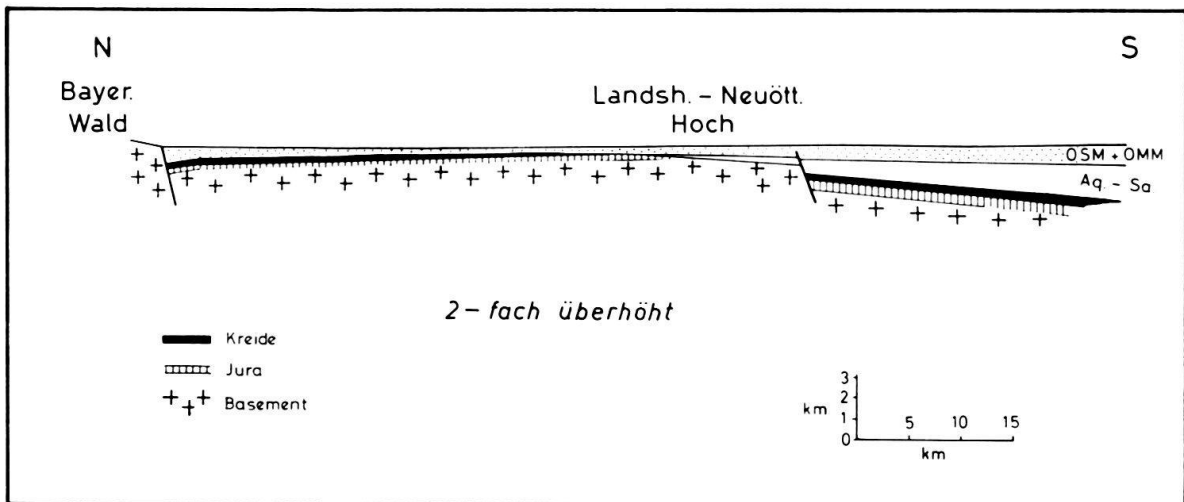


Fig. 2. Profilschnitt durch das Landshut-Neuöttinger Hoch, etwa auf der Linie Straubing-Ampfing (halbschematisch). - Sa. = Sannois, Aq. = Aquitan (nach LEMCKE 1972, Fig. 2, etwas ergänzt).

den Ablagerungen des Purbecks hinterlassen (Fig. 3). Es wird gegen Nordosten von dem sich jetzt voll entwickelnden Landshut-Neuöttinger Hoch begrenzt.

Die in der Unterkreide anschliessenden etwa 30 Mio Jahre bringen – ausser dem Intermezzo einer Meerestransgression im Valanginien/Hauterivien von Süden her in den Wasserburger Trog bis südlich Landshut – vor allem eine allmähliche schwache Schiefstellung der aus Malm bestehenden Landoberfläche nach Süden, gewissermassen als Vorboten der späteren Umformung des Alpenvorlandes zum tertiären Molassetrog. Dies führt nicht nur zu einer von Süd nach Nord stratigraphisch immer tiefer greifenden Abtragung des Malms, sondern auch zu einer

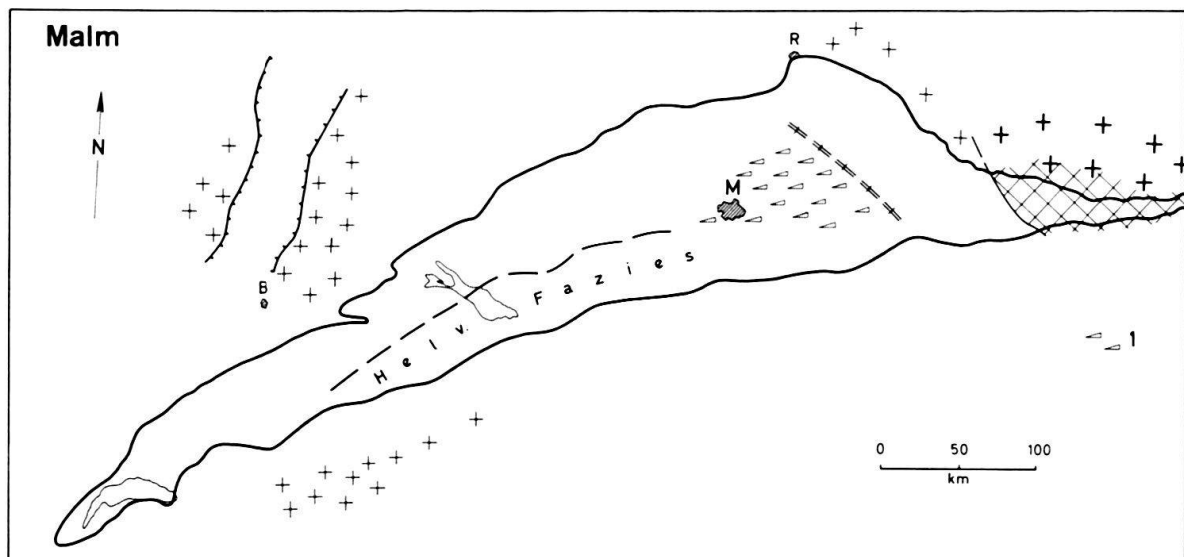


Fig. 3. Zur Paläogeographie des Malms. 1 = ungefähre Verbreitung des salinen Purbecks in Ostbayern; unterbrochene Doppellinie mit Querstrichen nordöstlich München = Landshut-Neuöttinger Hoch; Kreuzschraffur: Gebiete ohne Sedimentation; starke Kreuze: heutige Kristallgebiete, damals wohl ohne Sedimentdecke; dünne Kreuze: heutige Kristallgebiete, damals mit Sedimentdecke; M = München (aus LEMCKE 1973, Beil. 1, Fig. 7).

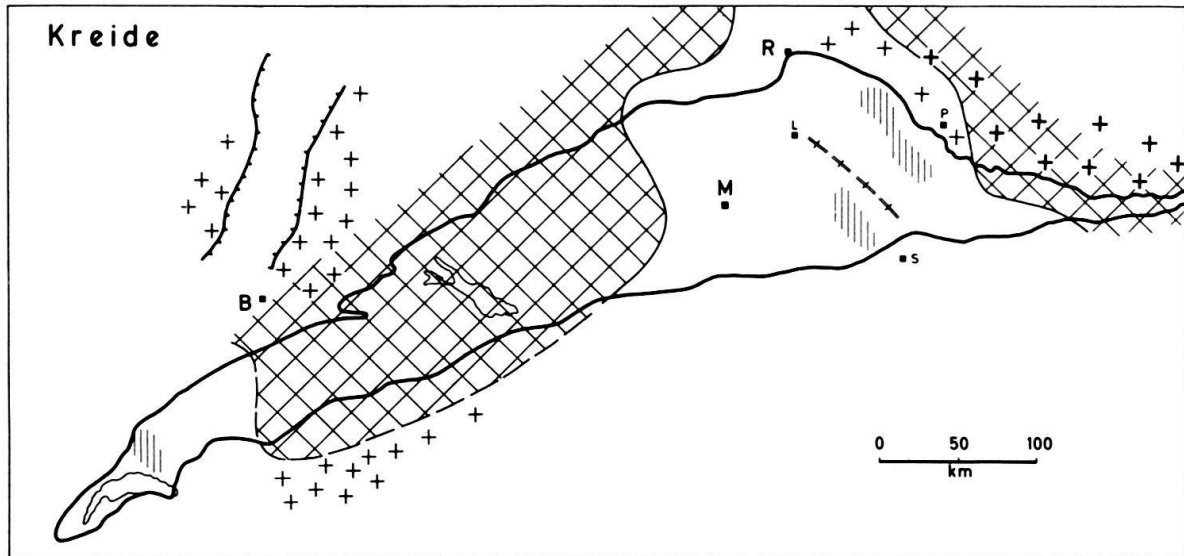


Fig. 4. Zur Paläogeographie der Kreide. – Senkrechte Schraffur: Gebiet besonders kräftiger Senkung. B = Basel, L = Landshut, P = Passau, R = Regensburg, S = Salzburg; übrige Signaturen wie auf Figur 3 (nach LEMCKE 1970, Fig. 6, etwas ergänzt).

weitflächigen, für die Hydrologie (und wahrscheinlich auch Ölgeologie) der Gegenwart besonders bedeutsamen Verkarstung – bis 200–300 m unter Malmoberkante.

Am Ende der Unterkreide, im Gault, erfolgt aus dem Alpenraum ein erneuter, nunmehr sehr nachhaltiger Meeresvorstoss in den Wasserburger Trog hinein (Fig. 4), der zunächst nur bis in die Gegend von Landshut gelangt und die meist grobkörnigen Gaultsande hinterlässt, die zum Teil von dem zu jener Zeit im Landshut-Neuöttinger Hoch vielleicht schon freiliegenden, aufgekippten vindelizischen Untergrund geschüttet sein könnten (LEMCKE 1978a, S. 38). Die hiermit eingeleitete Überflutung erreicht bereits im oberen Cenoman über das Hoch hinweg Niederbayern und die Gegend um Regensburg und dringt bis zum Santon/Campan nach Nordosten bis zum Bayerischen Wald, nach Norden bis in die Gegend von Bamberg vor, im Westen bis zum Lech und zum Nördlinger Ries. Ihre Ablagerungen, im Alpenvorland auch «Autochthones Helvetikum» genannt (HAGN 1960, S. 192), werden nordwestlich Passau > 1000 m mächtig.

Dem Rückzug des Oberkreide-Meeres folgen nochmals bis fast zum Ende des Eozäns etwa 28 Mio Jahre Exposition der Landoberfläche mit allgemeiner Denudation, Entstehung von Verwitterungslehmen und weiterer Verkarstung des nicht von Kreide bedeckten Malms (Fig. 5). Die grosse Wende, die den Südrand des varistisch konsolidierten Meso-Europa zum Bildungsraum der werdenden Alpen herunterbiegt und ihn damit zum Nordflügel der nun als Subsidenzbecken etwa gleichlaufend mit den Sedimentzufuhren einsinkenden Molasse-Vortiefe macht, beginnt im späten Obereozän (Priabon). Dies ermöglicht es den Randmeeren der Tethys, nach und nach immer weiter nach Norden über die im Westen nur aus Malm, in Ostbayern auch aus Kreide (und etwas Paläozoikum) bestehende Landoberfläche (Fig. 5) vorzudringen, bezeichnenderweise zuerst in dem jetzt wieder auflebenden alten Senkungsraum der Ostbayerischen Randsenke (LEMCKE 1973, Abb. 4). Die hier abgelagerten Seichtwassersedimente tragen anfangs im Priabon selbst noch

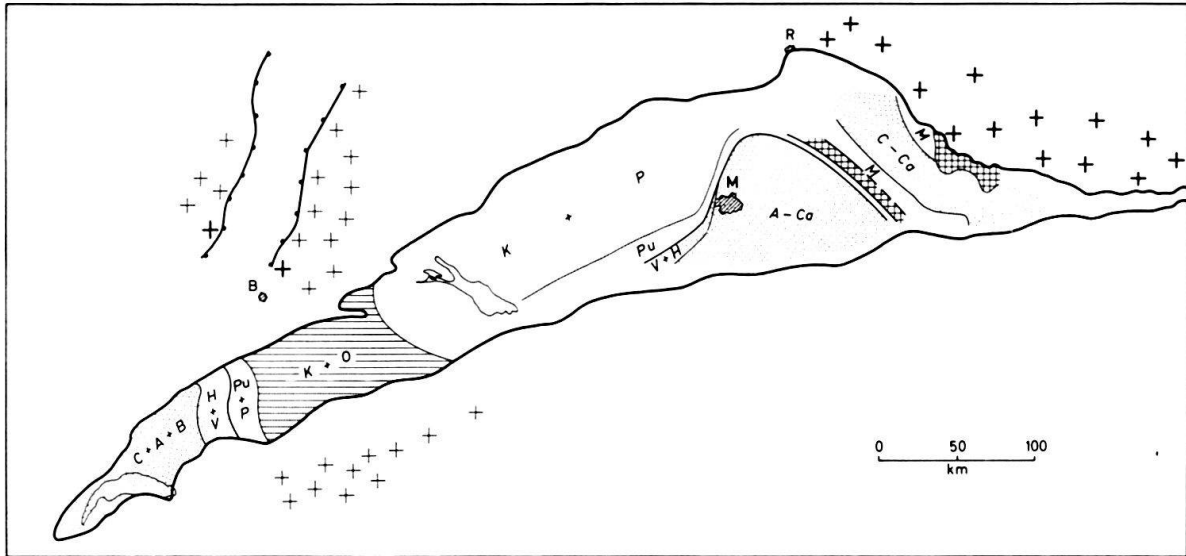


Fig.5. Abgedeckte Karte der Molasseunterlage. - Enge (stehende) Kreuzschraffur: Kristallin und Paläozoikum; Punktierung: Kreide; Horizontalschraffur: Regionale Kulmination des Beckenuntergrundes zwischen Schwarzwald und Aarmassiv; *M* = Malm allgemein; *O* = Oxford, *K* = Kimmeridge, *P* = Portland, *Pu* = Purbeck; *V* = Valanginien, *H* = Hauterive, *B* = Barrême, *A* = Apt und Alb (Gault); *C* = Cenoman, *Ca* = Campan; übrige Signaturen wie auf Figuren 3 und 4 (nach LEMCKE 1970, Fig. 7, etwas ergänzt).

Schelfcharakter mit den ausgedehnten, bis > 100 m mächtigen Riffbildungen des Lithothamnienkalks und auf weiten Flächen mit einer von Nordosten geschütteten, zum Teil vielleicht ein altes Flusstal plombierenden basalen Grobsandserie (LEMCKE 1977a, S. 52). Auf dieser ölgeologisch besonders wichtigen Abfolge liegen geringmächtige marine Fischschiefer des Unteroligozäns (Sannois), die als kondensierte Äquivalente eines Teils der im Bereich der heutigen Kalkalpen abgelagerten und später von diesen überfahrenen, flyschähnlichen Deutenhausener Schichten gelten. In ihnen sind zum ersten Mal Zufuhren von den werdenden Ostalpen erkennbar (FÜCHTBAUER 1964, S. 204).

Das zu diesen Ablagerungen gehörende Meer dringt im Westen bis etwa Lindau-Memmingen, im Osten - unter Respektierung des sich jetzt noch einmal bemerkbar machenden Landshut-Neuöttinger Hochs - bis etwa Landshut vor. Im Rupel (LEMCKE 1973, Beilage 2, Fig. 1) dehnt es sich vor allem in dem nun schneller absinkenden Ostbayern erheblich nach Norden und Nordosten - über das Hoch hinweg - aus; seine meist tonigen Sedimente werden dort im Süden über 1200 m mächtig und enthalten erstmalig grössere, zum Teil vielleicht turbiditische Sandeinschüttungen aus den Alpen (LEMCKE 1977a, S. 53) Erst im Chatt und Aquitan wird auch das westliche Becken voll in die allgemeine Absenkung einbezogen (LEMCKE 1975, Abb. 16). Nach dem Zwischenspiel der als Aussüßungsbildungen des Rupel-Meeres betrachteten marin-brackischen, unterchattischen Bausteinschichten, der faziellen Äquivalente der Horwer Platten, kommen hier im Gegensatz zum weiter unter Meeresbedeckung bleibenden Ostbayern als «Untere Süßwassermolasse» (USM) sehr mächtige fluvioterrestrische Sedimente zum Absatz, vor allem bunte Mergel und Sande, zeitweise und besonders im gefalteten Subalpin auch mit zum Teil bauwürdigen Braunkohleflözen (oberbayerische «Pechkohle»). Sie sind die

Hinterlassenschaft eines gewaltigen alpenparallelen Flußsystems, das zu jener Zeit von den Schweizer Westalpen zum ostbayerischen Meer abfloss – mit fast konstant bleibendem Mündungsbereich bei München. Zu einer Störung dieses Gleichgewichts Land–Meer kommt es nur um die Wende Chatt/Aquitän, zur Zeit also der savischen Phase, als eine relativ kurze Re- und Transgression des Meeres zum einen den Flusstransport der moldanubischen Glassandschüttung durch das vorübergehend trockengefallene Ostbecken bis zur heutigen Faltenmolasse (LEMCKE 1967, S.265), zum anderen anschliessend einen Meeresvorstoss nach Westen bis zur Iller unter Ablagerung der brackischen Oberen Cyrenenschichten ermöglichte.

Die Nordgrenze der chatt-aquitänen Ablagerungen, die zusammen ganz im Süden bis etwa 3500 m mächtig werden können, überschreitet nur bei Ulm den heutigen Donaulauf nach Nordwesten, bleibt aber sonst südlich von ihm. Gegenüber der gewaltigen westalpinen Hauptschüttung spielen die vor allem an ihrem Schwermineralbestand erkennbaren Zufuhren vom nördlichen Rahmen – wie die erwähnten Glassande – nur eine geringe Rolle. Bedeutsamer sind die Zuflüsse aus den aufsteigenden Alpen wie die mächtige terrestrische Nagelfluh-Schüttung des Hochgrats westlich der Iller («Molassealpen»), ferner im Deltagebiet des westalpinen Flußsystems östlich München der ölgeologisch wichtige Schuttfächer der fluviomarinen Chattsande samt aquitänen Nachläufern und im tieferen Wasser noch weiter östlich Turbidite, die sich nach Oberösterreich fortsetzen (LEMCKE 1977a, Abb.6).

Mit einem regionalen Meeresrückzug am Ende des Aquitän kommt die ältere Molasse zum Abschluss. Unter veränderten paläogeographischen Vorzeichen überflutet anschliessend das Flachmeer der ganz im Südosten bis 1400 m, sonst meist nur wenige 100 m mächtigen Oberen Meeresmolasse (OMM) im Burdigal und besonders im Helvet das ganze Molassebecken (Fig.6), wieder sukzessive von Süden und nun auch von Südwesten nach Norden vordringend («präburdigale Diskordanz») und mit Schüttungen vor allem von Südwesten und Osten. Seine Nordwest- und Nordküste ist noch heute auf der Schwäbischen Alb und im südlichen Riesvorland als stellenweise markante Klifflinie erkennbar; östlich des Lech ist sie von jüngeren Ablagerungen verhüllt (s. a. Fig.9).

Auf den – vielleicht durch eustatische Meeresspiegelsenkung verursachten – Rückzug dieses letzten Molassemeeres nach Südwesten folgt im Obermiozän bis zum Ende der Molassezeit im tiefsten Pliozän bei fortdauernder und sich bald sogar nach Norden erheblich ausweitender Absenkung des Beckens die fluvioterrestrische Schüttung der Oberen Süßwassermolasse (OSM), die im Süden bis >1000 m mächtig wird (LEMCKE 1973, Abb.8). Sie beginnt – nach kurzem, die Regression des Meeres begleitendem süßbrackischem Zwischenspiel (Süßbrackwassermolasse, SBM) – auf der trockengefallenen Landoberfläche zunächst zögernd mit den Ablagerungen wahrscheinlich einer Art Auenlandschaft mit trägen, von den Alpen und Oberösterreich in westlicher Richtung abfließenden Flüssen und ihren Totarmen, besonders am nördlichen Beckenrand auch mit Seen und Mooren, von denen heute Süßwasserkalke und Braunkohleflöze Kunde geben. Hieraus entwickelt sich, gespeist via Oberösterreich (Hausruck) durch rasch zunehmende Schuttfzufuhren aus den aufsteigenden Ostalpen, ein gewaltiges, nunmehr im Gegensatz zur Unteren Süßwassermolasse von Osten nach WSW in Richtung Rhonetal abströmendes

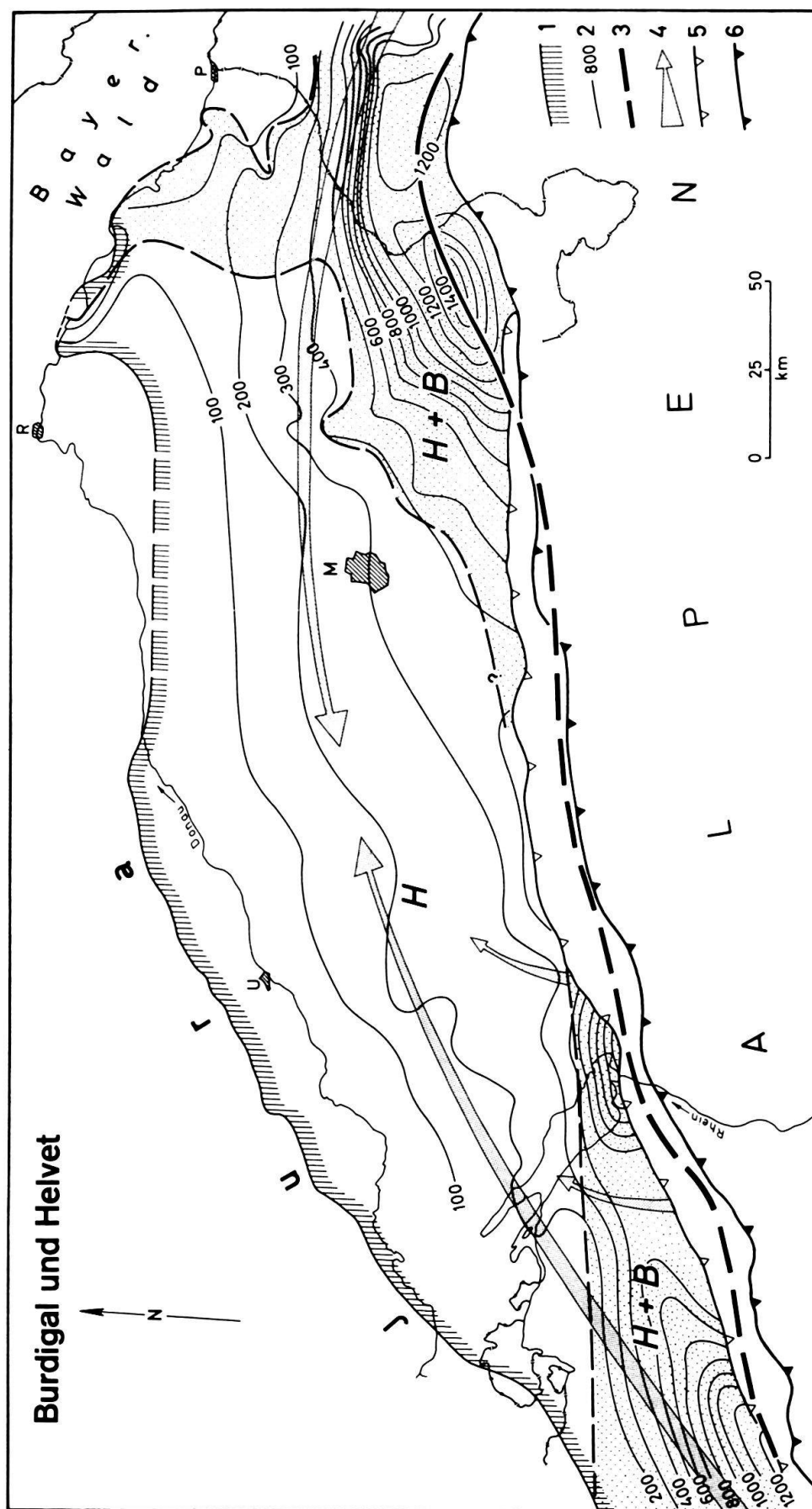


Fig. 6. Mächtigkeiten im Burdigal und Helvet. - H: Nur Helvet vorhanden, H + B in punktierter Fläche; Helvet und Burdigal vorhanden. 1 = Klifflinie der OMM, 2 = Isopachen von Burdigal + Helvet bzw. des Helvets allein, 3 = mutmassliche Trogachse im Burdigal und Helvet, 4 = hauptsächlich Schüttungsrichtungen, 5 = Nordrand der Faltenmolasse, 6 = Alpennordrand; M = München, P = Passau, R = Regensburg, U = Ulm (aus LEMCKE 1973, Beil. 2, Fig. 3).

Flussnetz mit Nebenflüssen von Süden, Nordwesten und Nordosten (LEMCKE 1973, S.34), dessen mächtige Ablagerungen aus sich oft wirr miteinander verzahnenden Kiesen, Sanden und bunten Tonen (am Ende stellenweise auch mit etwas Braunkohle) bestehen. Während sie auf der Westalb die Klifflinie der Oberen Meeresmolasse infolge dort bereits einsetzender Hebung des Schwarzwaldschildes nicht oder kaum erreichen, überschreiten sie diese östlich der Brenz beträchtlich nach Norden und sind auf der Frankenalb noch bis nördlich des Altmühltals nachweisbar (Fig.9).

Nach dem Ende der Oberen Süsswassermolasse im Unterpliozän beginnt allmählich die regionale Heraushebung des Alpenvorlandes und seiner Umgebung bis zu seiner heutigen Höhenlage über Meer, die aus dem bisherigen Ablagerungsraum ein Abtragungsgebiet macht. Das sich dabei herausbildende pliozän-quartäre Flußsystem mit den Vorflutern Rhein und vor allem Donau hat, abgesehen von wohl weiter benutzten Austrittspforten aus dem Gebirge, mit der um Jahrmillionen älteren Molassesedimentation nichts mehr zu tun.

2. Tektonik

Was von deren Ablauf hier in aller Kürze rekonstruiert werden konnte, hat sich zum allergrössten Teil auf dem Nordflügel des Molassetroges abgespielt, dessen Achsenregion, nach den Mächtigkeiten der einzelnen Stufen im Vorland zu urteilen, zunächst im Bereich der heutigen Kalkalpen lag, von wo aus sie, entsprechend dem Vorrücken der ostalpinen Decken, mit der Zeit nach Norden ins Gebiet der heutigen Faltenmolasse wanderte (LEMCKE 1973, Abb.6). Von den Ablagerungen auf dem Südflügel des Troges ist wenig erhalten geblieben, u.a. das vom Priabon bis zum Chatt reichende, der Fazies des nördlichen Vorlandes ähnliche inneralpine Unterinntal-Tertiär der Gegend von Kufstein, das wahrscheinlich ab ausgehendem Chatt im Zuge savischer Bewegungen mit seiner kalkalpinen Unterlage über den bisherigen Achsenbereich geschoben wurde (LEMCKE 1973, S.21). Dieser scheint dabei nicht nur überfahren, sondern auch weitgehend ausgeschürft worden zu sein, womit die tektonische Verfrachtung eines Teils seiner Füllung nach Norden zum heutigen Alpenrand und deren allmähliche Verformung zur späteren Faltenmolasse begann. Wieviel von der wohl grösstenteils in der noch meist turbiditischen Tiefwasserfazies der Deutenhausener Schichten entwickelten, priabonen bis rupelischen (HAGN 1978, S.201 und 223) Flyschmolasse des Trogtiefsten die Deckenüberschiebungen in situ und einigermassen unversehrt überstanden hat, weiss man nicht. Die auch auf Informationen hierüber zielende, 1978 beendete übertiefe Bohrung Vorderriss 1 in den Kalkalpen zwischen Mittenwald und Lenggries (Fig.9) traf unter 6300 m Lechtal- und Allgäudecke und etwa 100 m Randschuppe aus Oberdogger bis Cenoman verschuppte allochthone Oberkreide des Südhelvetikums an (Fig.7). Dieses und etwaige autochthone Molasse könnten hier (nach Seismik) noch bis etwa 7400 m Tiefe reichen; darunter würden dann bis zum Grundgebirge (? bei etwa 7700 m u.M.) noch etwa 1100 m autochthones Mesozoikum (Kreide und Malm, ?tieferer Jura, ?Trias) folgen (BACHMANN & MÜLLER 1981).

Die durch Tagesaufschlüsse und den jahrzehntelangen Bergbau auf die chatt-aquitane Glanzbraunkohle (Pechkohle) früher von der ganzen Vortiefe am besten bekannte Faltenmolasse (GWINNER 1971, Abb.386) enthält mit Ausnahme des

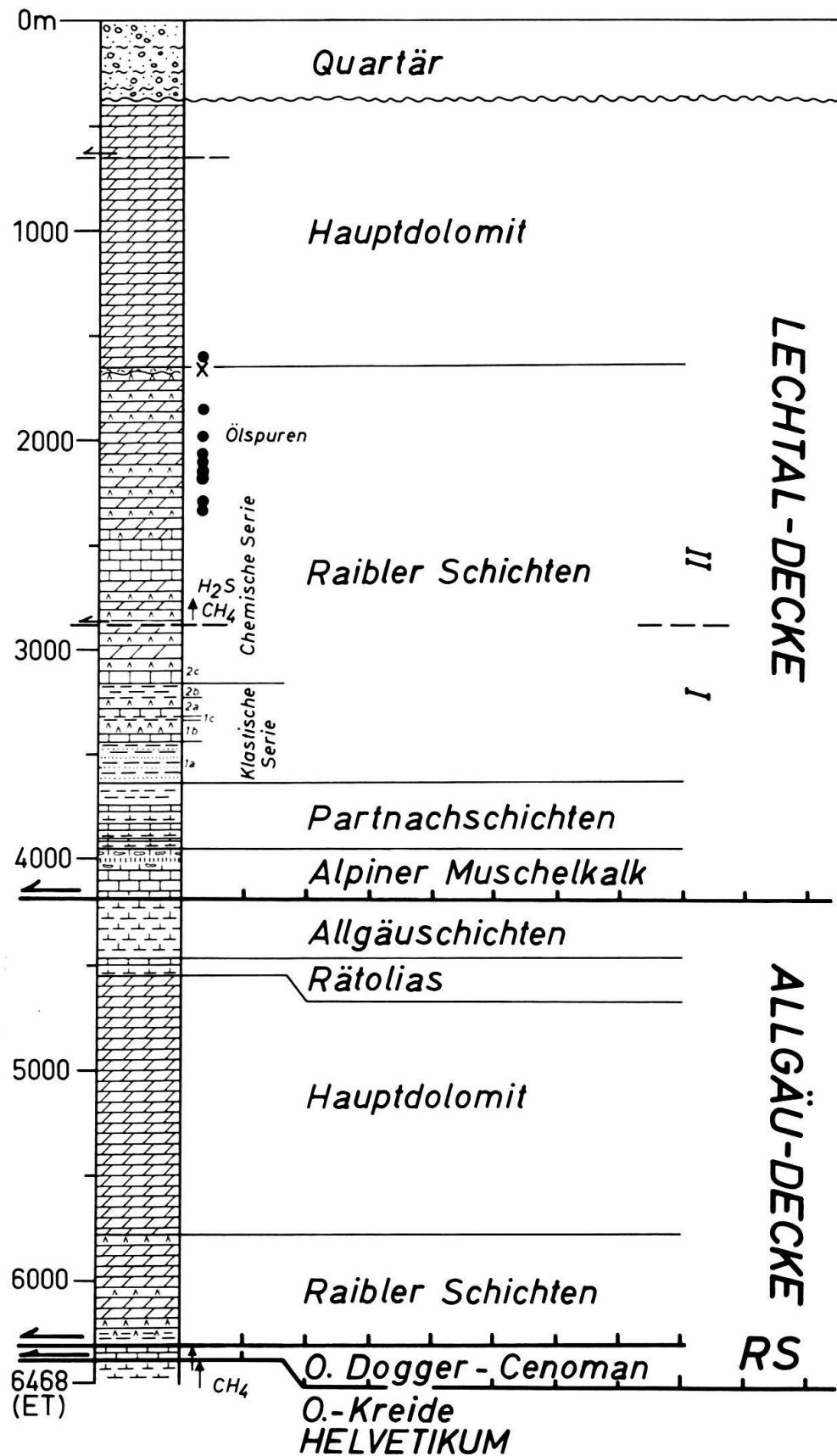


Fig. 7. Profil der Tiefbohrung Vorderriss 1. - RS = Randschuppe (aus BACHMANN & MÜLLER 1981).

Seichtwasserpriabons die gleichen Schichtglieder wie das ungefaltete Vorland, nur meist in grösserer Mächtigkeit und das tiefere Oligozän (+ Priabon) an ihrem Südrand in der Flyschmolassefazies der Deutenhausener Schichten. Geophysik und Bohrungen haben inzwischen ergeben, dass ihr altbekannter Muldenbau zur Tiefe hin vielfach mehr in Schuppen übergeht (MÜLLER 1970, Abb.2), die an flachen Überschiebungsbahnen übereinander und als Ganzes mit Mindestschubweiten von 6 bis 10 km auf das autochthone Vorland aufgeschoben sind. Dabei sind jeweils dessen höhere Molasseschichten durch tektonische Abrasion (MÜLLER 1970, S.100) entfernt worden, während die tiefere Molasse samt Unterlage mit gleicher Neigung wie weiter nördlich und ziemlich ungestört unter den Schuppenbau zu den Alpen hin einfällt.

Die vermutlich im Chatt begonnene Verfrachtung der heute allochthonen Molasse aus ihren trogtiefen Ablagerungsbereichen nach Norden hat – unter fortschreitender Abscherung von der Unterlage – in wechselnder Intensität bis in

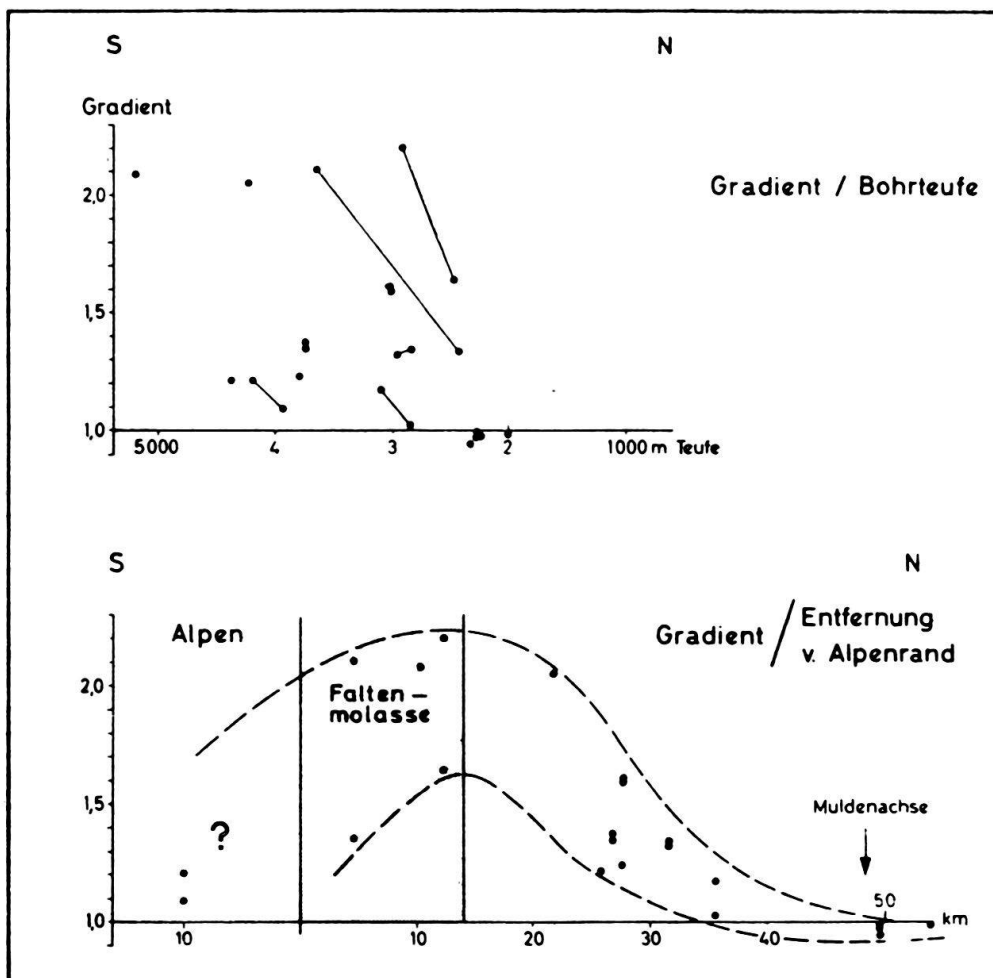


Fig.8. Überhydrostatische Formationsdrücke nördlich des Alpenrandes. – Gradient = Druckzunahme (bar) pro Dekameter Bohrteufe; im oberen Bildteil sind Gradienten aus verschiedenen Teufen gleicher Bohrungen durch einen Strich miteinander verbunden, im unteren liegen sie jeweils übereinander. Oben gehören ähnliche Gradienten zu sehr verschiedenen Bohrteufen, unten steigen die Gradienten zur Faltenmolasse an (aus LEMCKE 1973, Abb. 11).

nachsarmatische Zeit gedauert (SCHMIDT-THOMÉ 1964, S.293), mit zunehmender Einengung und schliesslich Verschuppung, wobei wohl vor allem die Tonmergel des Rupels als Gleitmittel gedient haben. Am Ende stand eine kräftige Heraushebung, begleitet und gefolgt von der Abtragung mächtiger junger Molasse, so dass im Subalpin heute überall ältere Schichten mit ihrem engen Muldenbau offen liegen. Dieser Gesamtvorgang, der die Faltenmolasse zu einer Art «Knautschzone» (LEMCKE 1973, S.32) zwischen den vorrückenden Decken und dem starrerem Vorland hat werden lassen, hat auf diesem nicht nur die höhere Molasse zu einer weitgespannten, etwa alpenparallelen Grossmulde eingeengt, worauf noch zurückzukommen ist. Er hat auch zu einer – spät- oder nachmolassischen – seitlichen Verdichtung vor allem der Oberen Meeres- und Süsswassermolasse geführt, was sich an den Geschwindigkeiten seismischer Wellen ablesen lässt (LOHR 1969, Fig. 9). Dass die darin fossil gewordenen Schubspannungen von den Alpen her bis heute andauern (LEMCKE 1973, S.37), beweisen überhydrostatische Formationsdrücke, die aus dem ungefalteten Bereich im Norden zur Faltenmolasse hin ansteigen, in der sie mit Gradienten bis $> 2 \text{ bar}/10 \text{ m}$ kulminieren (Fig. 8).

Einblicke in die grossräumige tektonische Entwicklung des nichtgefalteten Alpenvorlandes geben Streichlinienpläne auf drei prominente Horizonte, die fast nur nach Bohrungen entworfen wurden und strukturelle Einzelheiten vernachlässigen. Der erste (Fig. 9) zeigt die heutigen Konturen der Oberfläche des Paläozoikums, also des Vindelizischen Landes, dargestellt durch 100-m-Tiefenlinien und nach Norden bis zur Linie Bad Mergentheim–Nürnberg reichend (vgl. TRUSHEIM 1964, Beil. 12). Die grau schattierten Streifen sind die in das Kristallin eingesenkten Tröge mit Oberkarbon- und Permfüllung, von denen der herzynisch streichende, durch Bohrungen besonders gut belegte Trog vom Ries zur Salzach vielleicht mit der späteren, das innere Molassebecken gegen das flachgründige nordöstliche Schelfgebiet (HEERMANN 1956, S.152) begrenzenden «Hauptabschiebung» zusammenhängen könnte. Diese bildet im Südosten die Südwestkante des Landshut-Neuöttinger Hochs («Landshuter Abbruch», BESCHOREN 1955, S.64), trennt sich südlich Landshut von ihm und zieht unter Abnahme der Sprunghöhe nach Nordwesten in Richtung Ries³). Das Hoch selbst ist bei NNW-Streichen bis in die Gegend von Kelheim zu verfolgen und wird von den Streichlinien als schmale, nach Südosten abtauchende Hochzone abgebildet. Westlich von ihm zeigt sich ruhiges, flaches, nach Süden zunehmendes Südfallen beiderseits der «Hauptabschiebung»; östlich von ihm, in der Niederbayernscholle, ist das Streichlinienbild als Ergebnis voroligozäner, vor allem wohl kretazischer Bewegungen unruhiger. Hauptzüge sind hier im Osten längs der mutmasslichen Fortsetzung des Regensburger Keilberg-Bruches ein mit besonders mächtiger Oberkreide gefüllter Graben, westlich von ihm eine flache Einmuldung, die sich nach Nordwesten zu einer Querscheitelung zwischen Kelheim und Regensburg gegenüber der in gleicher Richtung axial absinkenden Frankenalbmulde heraushebt.

³) Die im Trennbereich gehäuft auftretenden, der Rieskatastrophe etwa gleichaltrigen Bentonitvorkommen als mögliche Anzeichen eines von dieser ausgelösten kurzen Glastuff-Vulkanismus (LEMCKE 1977b, Abb.3) könnten hier vielleicht auf eine für so etwas besonders prädestinierte Schwächestelle des Untergrundes deuten.

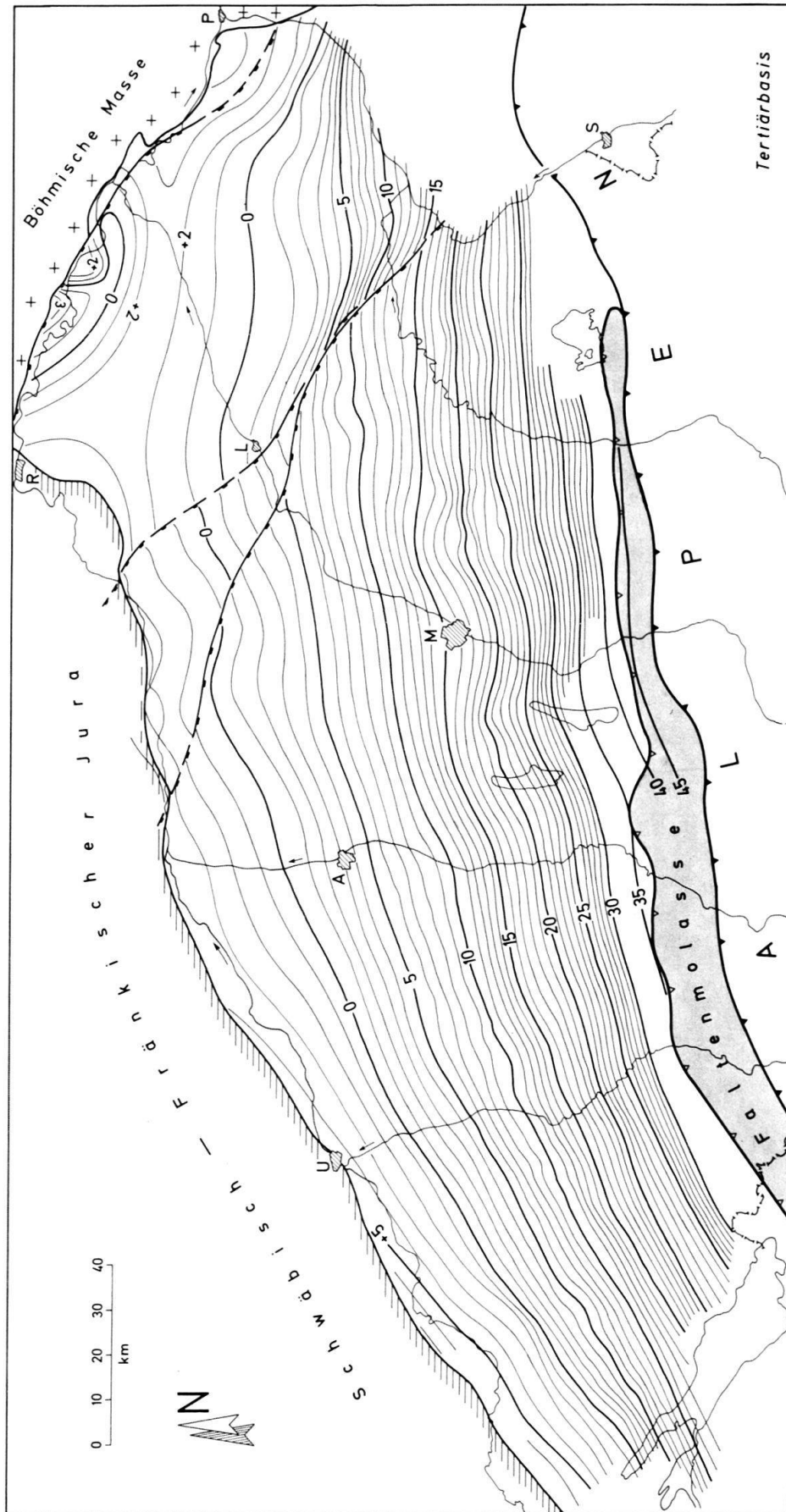


Fig. 10. Streichlinien der Tertiärbasis (100-m-Linien) in Metern unter bzw. (+) über NN, ohne Berücksichtigung der lokalen Bruchtektonik (nach LEMCKE 1973, Abb. 7, und 1980a, Abb. 28).

Diese Scheitelung setzt sich nach Westen und Südwesten in die «Schwäbisch-Fränkische Kulmination» fort, deren Höchstlagen von den Schnittbereichen mit zwei alten, herzynisch streichenden Strukturelementen gebildet werden, nämlich mit der Nordwest-Fortsetzung des Landshut-Neuöttinger Hochs und vor allem mit der jüngst durch eine Bohrung bei Dinkelsbühl (H. Haunschild, München, mdl. Mitt.) bestätigten Ries-Tauber-Schwelle (TRUSHEIM 1964, S. 68). Sie ist vom Ries aus unter axialem Absinken bis etwa Sigmaringen zu verfolgen, wo sie in den allgemeinen Anstieg zum Schwarzwaldschild einmündet, zwischen Tübingen und dem Kochertal begleitet von der immer noch erkennbaren Senke des Schramberger Rotliegendetroges (BREYER 1956, Abb. 6).

Die Kulmination ist vermutlich dadurch passiv entstanden, dass die ursprünglich nach Süden ansteigende vindelizische Landoberfläche – mit ihrem infolge schwacher jungkimmerischer Kippung sehr flach südfallenden Deckgebirge (S. 3) – ab Obereozän bei der Herausbildung des Molassetroges, nach Norden fortschreitend, kräftig zur Tethys abgebogen wurde. Die Lage der dabei sukzessive in gleicher Richtung wandernden «Scharnierzone» wird jeweils annähernd wohl durch die Nordgrenzen der betreffenden Molassestufen markiert, die vor dem Chatt noch sehr von dem rascheren Absinken der Ostbayerischen Randsenke beeinflusst werden. Dementsprechend reichen die nördlichsten Erosionsreste der Oberen Süßwassermolasse bis zur jüngsten Position der Scharnierzone, also etwa bis zur Kammlinie der Kulmination.

Entgegen diesem einigermaßen differenzierten Bild vom tiefen Untergrund zeichnen die 100-m-Streichlinien der Tertiärbasis (Fig. 10) im ganzen Molassebek-

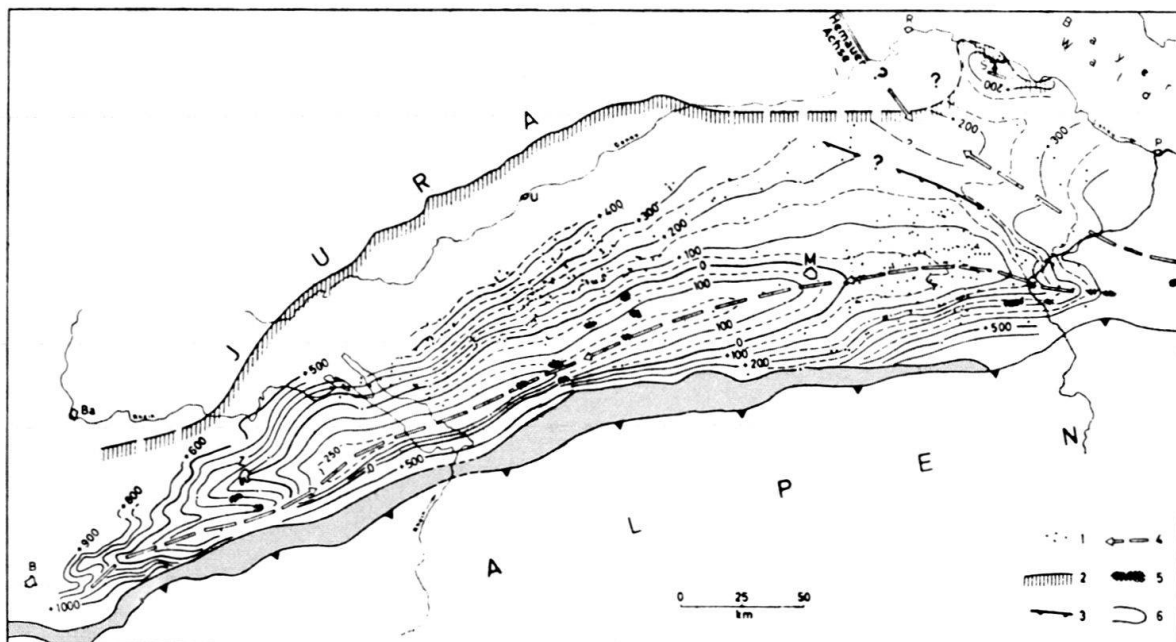


Fig. 11. Streichlinien auf die Oberkante der Oberen Meeresmolasse (m unter/über NN) nach Bohrungen und Oberflächengeologie. – 1=Tiefbohrungen; 2=Klifflinie der OMM; 3=Landshut-Neuöttinger Abbruch; 4=Achse der beiden Grossmulden, jeweils in Pfeilrichtung abtauchend; 5=grössere Braunkohlevorkommen in der Oberen Süßwassermolasse; 6=Faltenmolasse, B=Bern, Ba=Basel, M=München, P=Passau, R=Regensburg, S=Straubing, U=Ulm, Z=Zürich (aus LEMCKE 1973, Abb. 5).

ken – auch in Niederbayern – als Ergebnis der vorpriabonen Denudation nur eine ziemlich konturlos südfallende Platte nach, deren Einfallen alpenwärts etwas zunimmt. Die beiden regionalen Störungen nordöstlich München dominieren weiterhin, der Landshuter Abbruch jedoch mit sehr verringerter Sprunghöhe.

Im Gegensatz hierzu beweisen die Streichlinien auf den höchsten kartierbaren Tertiärhorizont, die Oberkante der Oberen Meeresmolasse (Fig. 11), den schon oben kurz gestreiften Einfluss des alpinen Deckenvorschubs auf die Lagerung der höheren Molasse bis weit ins Vorland hinein. Sie bilden zwischen Bern und Oberösterreich – etwa parallel zum Alpenrand – eine fast 450 km lange, durch seitliche Einengung von Süden her sekundär entstandene, asymmetrische Grossmulde ab (LEMCKE 1973, S.29), deren Achse meist als Beckenachse bezeichnet wird, obwohl sie – auf dem Nordflügel des Troges gelegen – mit dessen Achsenbereich nichts zu tun hat. Ihr vom südfallenden tieferen Tertiär abgehobener Südschenkel steigt zur Faltenmolasse an, wo er vielfach bis zur Saigerstellung oder Überkippung aufgerichtet ist. – «Hauptabschiebung» im Nordosten und Landshut-Neuöttinger Hoch sind in diesem Horizont übrigens nur noch abgeschwächt oder indirekt an der flachen, SE-NW streichenden Einmuldung der Niederbayernscholle erkennbar.

Die vom Obereozän bis Unterpliozän anhaltende Abbiegung des Molasseuntergrundes nach Süden um > 5000 m wird von etwa streichenden, normal oder antithetisch abschiebenden und mit meist $50-70^\circ$ einfallenden, mehr lokalen Dehnungsbrüchen begleitet, die Sprunghöhen bis fast 200 m besitzen können und sich zum Teil als Lineamente weit verfolgen lassen (LEMCKE 1977a, Abb. 7). Auf den Hochschollen südlich antithetischer Brüche haben sich in Mesozoikum und Molasse die weitaus meisten Öl- und Gasvorkommen in Halbstrukturen angereichert, die alle einen im Grundsatz ähnlichen Bau haben, im Profilschnitt wie als Karte (VOLLMAYR 1971, Fig. 15, 16). In Ostbayern beginnen die abdichtenden Störungen oft schon im tiefen Oligozän und entwickeln sich dann $\pm$ synsedimentär weiter bis zum Ende des Aquitan, treten aber im allgemeinen nicht in höhere Schichten über. Im Westen reissen sie vielfach erst im Mittel- bis Obermiozän auf, doch gibt es auch hier ältere Abschiebungen. Über die Rolle vortertiärer Brüche ist wenig bekannt.

Auf die erst zum Ende der Molassezeit wirksam werdende Einengung von den Alpen her sind vermutlich einige flache Gewölbestrukturen dicht nördlich der Faltenmolasse Ostbayerns zurückzuführen, die zum Teil Gasvorkommen enthalten. Eine gasführende Beulenstruktur ferner im Dogger beta bei Kirchdorf/Iller hat sich vielleicht durch Subrosion unterschiedlich mächtiger Triassalze während des Malm gebildet (LEMCKE 1977a, S.55).

3. Öl, Gas, Karstwasser

Von 1953 bis Ende 1979 wurden im deutschen Alpenvorland 37 Öl- und Gasfelder erschlossen (Fig. 12), aus denen zusammen bisher etwa 6,2 Mio t Öl und fast 14 Mrd Ncbm Gas gefördert worden sind. Dabei kam das Öl in Ost und West aus Speicherhorizonten an der Tertiärbasis, im Westen auch aus Muschelkalk, Keuper und Malm; erstmalig wurde 1980 in Ostbayern bei München ein Ölfund auch in den Gaultsanden erzielt. Das Gas wurde im Westen aus Trias und Jura, etwas auch aus der Unteren Süsswassermolasse, im Osten aus der Marin-Molasse vom Priabon

bis zum tiefen Burdigal produziert. Nach geologischen Überlegungen (LEMCKE 1977a, S.55) und geochemischen Untersuchungen (SCHOELL 1977, S.311; HAHN-WEINHEIMER et al. 1979) stammen das thermokatalytisch gebildete Gas des Westens und der Tertiärbasis des Ostens sowie fast das gesamte Öl aus mesozoischen Muttergesteinen (LEMCKE 1979, S.316). Die bedeutenden Gasvorkommen in der ostbayerischen Molasse oberhalb ihrer Basis enthalten nur bakteriell entstandenes Gas der Frühdiagenese, das von den für Ölbildung hier noch zu unreifen marinen Tongesteinen des Sannois bis Aquitan herzuleiten ist.

Eine Besonderheit im ungefalteten Bereich ist schliesslich eine seit dem ausgehenden Pliozän fortschreitende Druckabsenkung im Malm-Karstwasser unter Molasse und Kreide infolge und etwa gleichlaufend mit dem Einschneiden von Rhein und Donau in den anstehenden Malm, mit Druckminima bei Waldshut und Regensburg (LEMCKE & TUNN 1956, LEMCKE 1976, 1978b). Sie hat abwärts gerichtete Porenwasserbewegungen vom Hangenden zum Malm ausgelöst, die möglicherweise die Erhaltung von Öl- und Gaslagerstätten gefährden und in Ostbayern nach SCHOELL (1977, S.321) bakteriell gebildetes Gas höherer Molassestufen den thermokatalytischen Gasen der Tertiärbasis zugemischt, nach LEMCKE (1979, S.316) wohl auch Bakterien dorthin verschleppt haben könnten, die den bakteriellen Abbau (Biodegradation) der Öle von Ampfing-Mühldorf bewirken. Auf diese Weise mögen vielleicht auch Schwefelverbindungen aus der Kohlenwasserstoffgenese, die dem Gas und Öl Ostbayerns ganz oder weitgehend fehlen (KRAUS 1969, S.453), in das Malm-Karstwasser und mit ihm zu dessen Drucktiefsten bei Kelheim-Regensburg gelangt sein (und gelangen), wo der womöglich schon seit dem älteren Pleistozän ausgeschiedene Schwefel heute Schwefelquellen speisen könnte, die sich dort südlich der Donau auffällig häufen (LEMCKE 1980b).

Auch im Mesozoikum unter dem Malm des westlichen Vorlandes hat sich infolge des erosiven Zurückweichens des Steilrandes der Schwäbischen Alb nach Südosten eine erhebliche, nach unten zunehmende Druckabsenkung herausgebildet (LEMCKE 1976, S.15), die die im Malm noch übersteigt. Ihre Folgen sind noch kaum erforscht.

LITERATURVERZEICHNIS

- BACHMANN, G.H., & MÜLLER, M. (1981): *Geologie der Tiefbohrung Vorderriss 1 (Kalkalpen, Bayern)*. – *Geologica Bavarica* 81 (im Druck).
- BESCHOREN, B. (1955): *Die Vorlandmolasse im Gebiet der unteren Isar*. – Erläut. geol. Übersichtskarte Süddtsch. Molasse 1:300000, S.59–67, München.
- BREYER, F. (1956): *Ergebnisse seismischer Messungen auf der süddeutschen Großscholle, besonders im Hinblick auf die Oberfläche des Varistikums*. – *Z. dtsh. geol. Ges.* 108, 21–36.
- ELBERSKIRCH, W., & LEMCKE, K. (1955): *Zur Tektonik der nordalpinen Molassesenke*. – *Z. dtsh. geol. Ges.* 105, 307–323.
- FÜCHTBAUER, H. (1964): Sedimentpetrographische Untersuchungen in der älteren Molasse nördlich der Alpen. – *Eclogae geol. Helv.* 57, 157–298.
- GWINNER, M.P. (1971): *Geologie der Alpen*. – Schweizerbart, Stuttgart.
- HAGN, H. (1960): *Die stratigraphischen, paläogeographischen und tektonischen Beziehungen zwischen Molasse und Helvetikum im östlichen Oberbayern*. – *Geologica Bavarica* 44, 3–208.
- (1978): *Die älteste Molasse im Chiemgau/östliches Oberbayern (Katzenloch-Schichten, Priabon)*. – *Mitt. Bayer. Staatssamml. Paläont. hist. Geol.* 18, 167–235.

- HAHN-WEINHEIMER, P., HIRNER, A., & LEMCKE, K. (1979): *Zur Herkunft süddeutscher Erdöle*. – Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 45/109, 35–46, und Erdöl-Erdgas-Z. 95, 121–125.
- HEERMANN, O. (1956): *Das süddeutsche Molassebecken*. – In: Symp. sob. yacim. petrol. gas 5 (Europa): Erdöl- und Erdgasfelder in Deutschland (S. 149–154), XX. Congr. Geol. int. México.
- KRAUS, L. (1969): *Erdöl- und Erdgaslagerstätten im ostbayerischen Molassebecken*. – Erdöl-Erdgas-Z. 85, 442–454.
- LEMCKE, K. (1967): *Zur Paläogeographie der Glassande in der subalpinen Molasse*. – Geol. Rdsch. 56, 262–266.
- (1970): *Epirogenetische Tendenzen im Untergrund und in der Füllung des Molassebeckens nördlich der Alpen*. – Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 37/91, 25–34.
- (1972): *Die Lagerung der jüngsten Molasse im nördlichen Alpenvorland*. – Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 39/95, 29–41.
- (1973): *Zur nachpermischen Geschichte des nördlichen Alpenvorlandes*. – Geologica Bavarica 69, 5–48.
- (1974): *Vertikalbewegungen des vormesozoischen Sockels im nördlichen Alpenvorland vom Perm bis zur Gegenwart*. – Eclogae geol. Helv. 67, 121–133.
- (1975): *Molasse und vortertiärer Untergrund im Westteil des süddeutschen Alpenvorlandes*. – Jber. Mitt. oberrh. geol. Ver. [N.F.] 57, 87–115.
- (1976): *Übertiefe Grundwässer im süddeutschen Alpenvorland*. – Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 42/103, 9–18.
- (1977a): *Erdölgeologisch wichtige Vorgänge in der Geschichte des süddeutschen Alpenvorlandes*. – Erdöl-Erdgas-Z. 93 (Sonderausgabe), 50–56.
- (1977b): *Ölschiefer im Meteoritenkrater des Nördlinger Rieses*. – Erdöl-Erdgas-Z. 93, 393–397, und Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 44/106, 1–12.
- (1978a): *Der vortertiäre Untergrund*. – Erläut. geol. Karte Bayern 1:50000, Bl. Nr. L 7740 Mühldorf am Inn, S. 22–44.
- (1978b): *Gespanntes Malmkarstwasser im Untergrund des süddeutschen Alpenvorlandes*. In: *Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland, Textband* (S. 240–245). – Boldt, Boppard.
- (1979): *Dreissig Jahre Öl- und Gassuche im süddeutschen Alpenvorland*. – Jber. Mitt. oberrh. geol. Ver. [N.F.] 61, 305–319.
- (1980a): *Erdgeschichtlicher Rahmen und Tektonik*. In: *Die Thermal- und Schwefelwasservorkommen von Bad Gögging*. – Schriftenr. Bayer. Landesamt Wasserwirtsch. 15, München (im Druck).
- (1980b): *Gedanken zur Schwefelanreicherung zwischen Neustadt a. d. Donau und Regensburg*. In: *Die Thermal- und Schwefelwasservorkommen von Bad Gögging*. – Schriftenr. Bayer. Landesamt Wasserwirtsch. 15, München (im Druck).
- LEMCKE, K., & TUNN, W. (1956): *Tiefenwasser in der süddeutschen Molasse und in ihrer verkarsteten Malmunterlage*. – Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 23/64, 35–56.
- LOHR, J. (1969): *Die seismischen Geschwindigkeiten der jüngeren Molasse im ostschweizerischen und deutschen Alpenvorland*. – Geophys. Prospect. 17, 111–125.
- MÜLLER, M. (1970): *Das Ergebnis der Bohrung Staffelsee 1 als Grundlage für neue Vorstellungen über Bau und Untergrund der gefalteten Molasse*. – Geologica Bavarica 63, 86–106.
- (1978): *Der postkretazische Werdegang des Landshut-Neuöttinger Hochs*. – Erläut. geol. Karte Bayern 1:50000, Bl. Nr. L 7740 Mühldorf am Inn, S. 137–139.
- OSCHMANN, F. (1963): *Introduction into the Regional Geology of the South German Molasse Basin*. – Excurs. Guide Book III, 6th World Petrol. Congr. Frankfurt a.M., S. 5–17.
- SCHMIDT-THOMÉ, P. (1964): *Der Alpenraum*. – Erläut. geol. Karte Bayern 1:500000, S. 244–296.
- SCHOELL, M. (1977): *Die Erdgase der süddeutschen Molasse*. – Erdöl-Erdgas-Z. 93, 311–322.
- TRUSHEIM, F. (1964): *Über den Untergrund Frankens*. – Geologica Bavarica 54.
- VOLLMAYR, TH. (1971): *Zur Geologie des Feldes Pfullendorf-Ostrach*. – Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 37/92, 1–20.