

Zeitschrift: Heimatbuch Meilen

Herausgeber: Vereinigung Heimatbuch Meilen

Band: 4 (1963)

Artikel: Zur Geologie der Molasse zwischen Zuerichsee und Pfannenstiel

Autor: Pavoni, N.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-954169>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

ZUR GEOLOGIE DER MOLASSE ZWISCHEN ZUERICHSEE UND PFANNENSTIEL

Von N. Pavoni

Auf unserer Wanderung dem Dorfbach entlang zum Pfannenstiel (s. Heimatbuch Meilen 1960) haben wir im Tobel an zahlreichen Stellen die gelblichen und grauen Gesteine der Molasse angetroffen. Der ganze Pfannenstiel, das ganze Zürcher Oberland, Albis und Zimmerberg, sind aus diesem Gesteinsmaterial aufgebaut, und ebenso ist das breite Zürichseetal in sie eingetieft. Es handelt sich bei der Molasse um eine sehr mächtige, weitausgedehnte Abfolge von Mergel-, Sandstein- und Nagelfluhschichten, die, wie die 1960 ausgeführte Erdölbohrung ob Küsnacht gezeigt hat, im Gebiet des Pfannenstiels eine Mächtigkeit von 3000 m besitzt, das heisst bis in eine Tiefe von rund 2500 m unter den Spiegel des Zürichsees hinabreicht (s. Abb. 1). Die Molassegesteine bilden den Untergrund des gesamten Schweizerischen Mittellandes. An der Oberfläche sind sie allerdings vielfach durch eine Haut von jüngeren Ablagerungen der Quartärzeit verhüllt. Es sind dies die Moränen und Schotter der Eiszeit, ferner die Bildungen der geologischen Gegenwart, Deltas und Schuttkegel der Bäche und Flüsse, Rutschungen an steilen Hängen und nicht zuletzt die künstlichen Aufschüttungen und Veränderungen der Landschaft durch den Menschen. Diese quartären Ablagerungen sind im allgemeinen höchstens ein paar dutzend Meter mächtig; in den grossen Tälern, unter den breiten Talböden wie im Limmattal oder unter der Linthebene können sie allerdings mehr als 100, ja mehrere hundert Meter mächtig werden. Dazu kommt, dass die Gesteine der Molasse, ganz besonders die weichen Mergel, rasch verwittern und eine fruchtbare Verwitterungsschicht bilden. Unser Gebiet ist fast vollständig von Vegetation bedeckt. Gärten, Wiesen, Wald, Häuser, Strassen verhüllen die Molasse auch dort, wo sie direkt die Unterlage bildet. Aus allen diesen Gründen sind Aufschlüsse, d.h. Stellen, wo das Gestein des Untergrundes direkt sichtbar zu Tage tritt, in der Molasse recht spärlich. Sie sind beschränkt auf die Prallhänge und Rutschhänge in den Tobeln, ferner auf kurzfristige Anschnitte des Terrains durch Baugruben und künstliche Strasseneinschnitte. Im Gebiet von Meilen, wie überhaupt am rechten Seeufer, zeigen die steilen Rebhänge hie und da Aufschlüsse in der Molasse. Charakteristisch sind relativ harte Knauersandsteinbänke, welche die Rebberge als Felswändchen oben abschliessen (Abb. 2).

Geologisches Profil der Bohrung „Küschnacht 1“

ergänzt bis zum kristallinen Grundgebirge

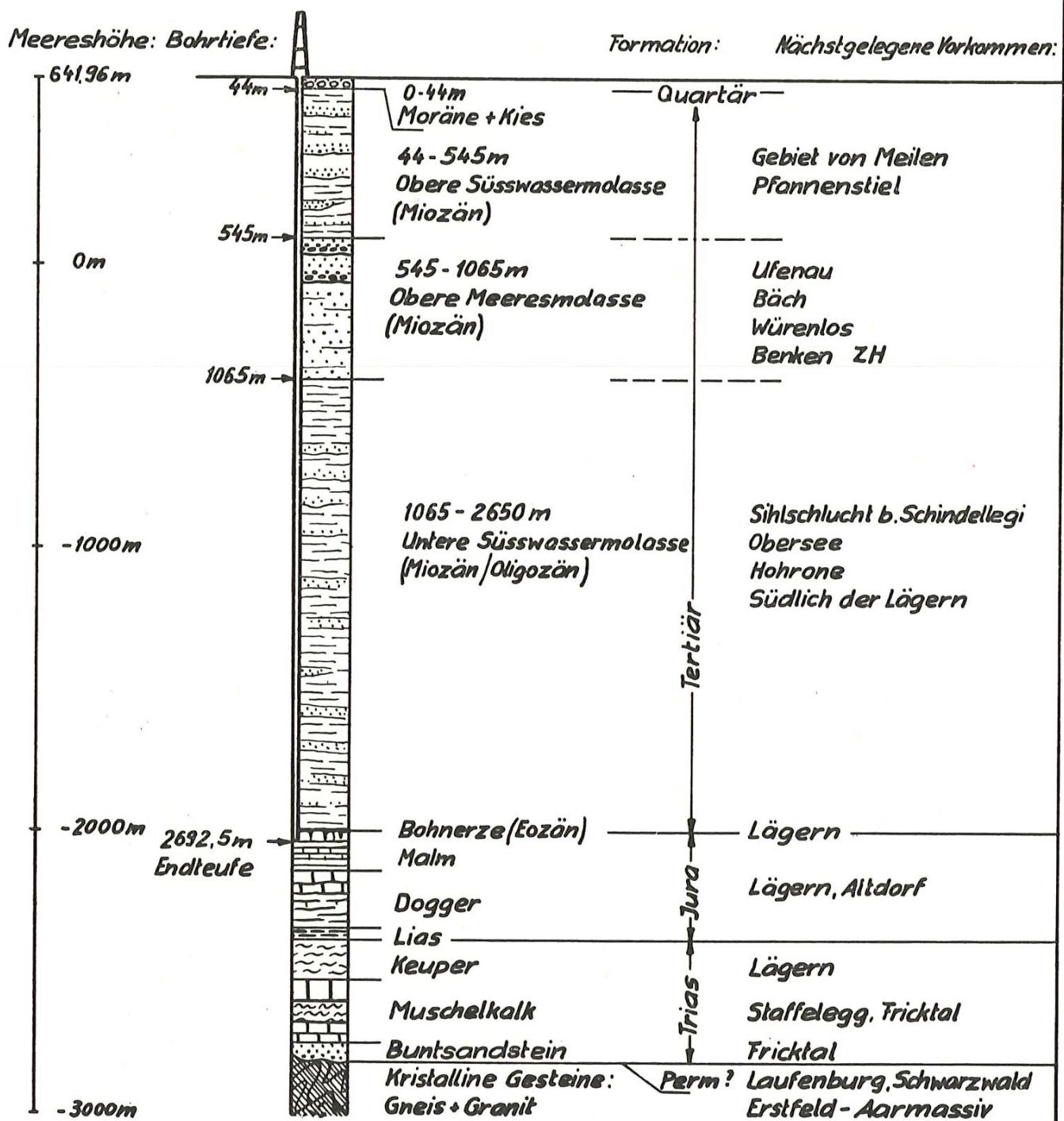


Abb. 1

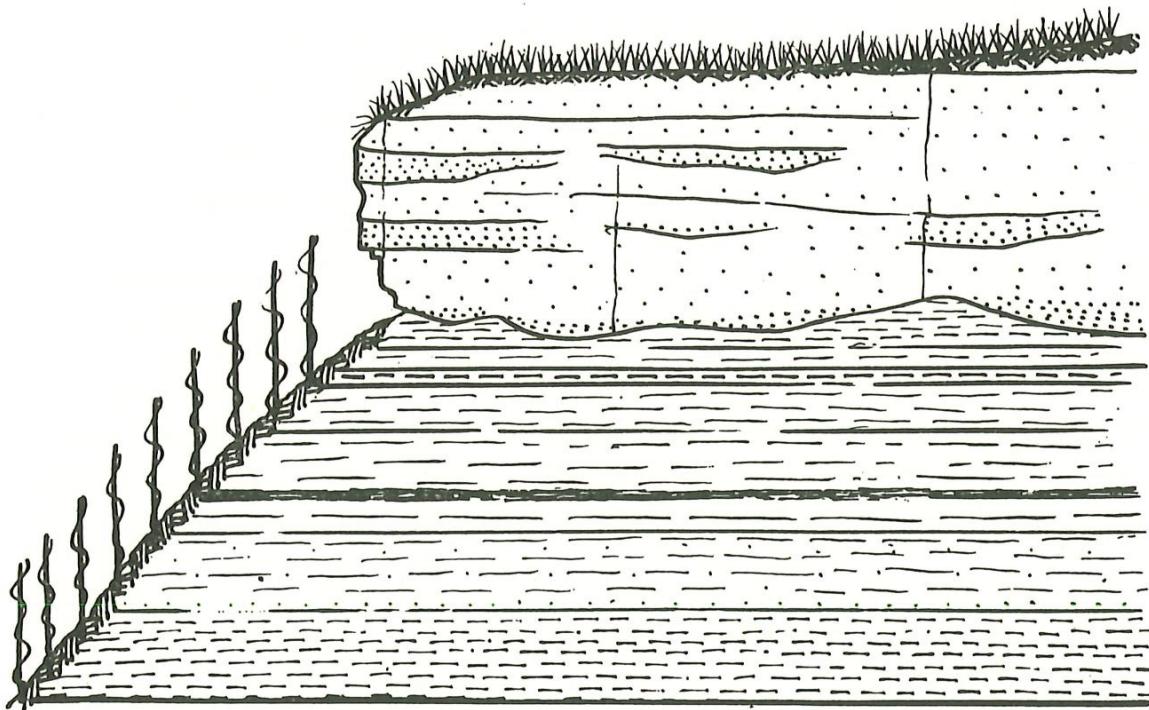


Abb. 2 Geologisches Profil quer zum Hang durch eine Schichtterrasse im Gebiet von Meilen. Die Terrassenfläche wird durch die Oberfläche der relativ harten Knauersandsteinbank (punktiert) gebildet. Weiter seeaufwärts, im Gebiet von Stäfa-Feldbach, treten an Stelle der Knauersandsteine Nagelfluhbänke. Die Unterlage des mit Reben bestandenen Steilhanges wird durch weiche Mergel (horizontale Striche) gebildet. Ob dem Rebberg tritt in vielen Fällen die Sandsteinbank direkt zutage. Die Schichtterrassen, welche dem Gehänge des Zürichseetales von Erlenbach bis Feldbach und von Thalwil bis Wädenswil das Gepräge verliehen, wurden durch das fliessende Eis der Gletscher herauspräpariert.

Betrachten wir im folgenden zunächst einmal das Material, die verschiedenen Gesteinsarten der Molasse.

Die verschiedenen Gesteinsarten der Molasse

a) Die Nagelfluh

Nagelfluhbänke sind im Gebiet von Meilen an folgenden Stellen gut aufgeschlossen: Am Stollen, unter der Okenshöhe, am Hang nördlich «Hinterer Pfannenstiel», an der Eichhalde, im Rappentobel auf Kote

690 m, 730 m und 750 m, in der Kiesgrube Cholrüti, am Lerchberg und in den Kiesgruben am Vorrain zwischen Wetzwil und Toggwil. Im Tobel des Dorfbaches und des Beugenbaches finden wir trotz eifrigen Suchens keine Nagelfluhbank mehr. Einzig beim Mülihölzli, Kote 530 m, und am Bünisbach, Kote 510 m, ist der Knauersandstein etwas geröllführend. Wir sind damit bereits auf eine recht bedeutsame Tatsache gestossen. Die Molasseschichten am Pfannenstiel, die sogenannten Pfannenstiel-Schichten, enthalten zahlreiche Nagelfluhbänke, die tieferen Schichten der Molasse, die sogenannten Meilener und Zürich-Schichten, sind im Gebiet von Meilen praktisch nagelfluhfrei (vergl. Abb. 6). Ausserhalb des Gemeindegebietes nimmt der Nagelfluhgehalt der Molasse generell gegen Osten hin zu. Im Zürcher Oberland ist die Obere Süsswassermolasse (OSM) ganz allgemein stark nagelfluhhaltig.

Für den Geologen sind die Nagelfluhen stets von ganz besonderem Interesse. Ihr genaues Studium liefert ihm zahlreiche wertvolle Erkenntnisse über die Vorgänge, die sich in den weit zurückliegenden Zeiträumen abgespielt haben. Begeben wir uns daher in eine der zahlreichen Kiesgruben, die am Pfannenstiel in Nagelfluhbänken der Molasse angelegt wurden. Die Nagelfluhen am Pfannenstiel bestehen aus gut gerundeten ei- bis kopfgrössen *Geröllen*, die durch einen sandig-kalkigen Zement miteinander verkittet wurden (s. Heimatbuch 1960). Ist dieser Zement gut, so ist die Nagelfluh ein festes, relativ hartes Gestein; fehlt das kalkige Bindemittel, so zerfällt die Nagelfluh zu Kies und Sand. Charakteristisch für die Molassenagelfluh sind Gerölle mit «*Eindrücken*», die wir bei einigem Suchen in jeder Nagelfluhbank finden (vergl. Abb. 3).

Was für Aussagen können bei genauem Studium der Nagelfluh gewonnen werden?

Die *Grösse* und der *Rundungsgrad* der Gerölle lassen bei vorsichtiger Abschätzung aller Kriterien eine Aussage über die *Länge des Transportweges des Gerölles* und damit über eine *Mindestlänge der Flüsse der Molassezeit* zu. Gut gerundete Gerölle deuten auf einen langen Transportweg (vergl. Meilener Heimatbuch 1960, Seite 20). Natürlich spielt die Gesteinshärte des Gerölles eine wichtige Rolle: Quarzite, Hornsteine, verkieselte Sedimente, die vorwiegend aus Quarz aufgebaut sind, bleiben noch lange erhalten, wenn Karbonatgesteine, Kalke und Dolomite, schon längst zerrieben sind.

Die Grösse der Gerölle lässt auf die *Transportkraft* der damaligen Flüsse schliessen. Die grössten Gerölle von 24 cm Durchmesser fand ich in der mächtigen Bank im Tobel am Schufelberg ob Egg auf Höhe 755 m.

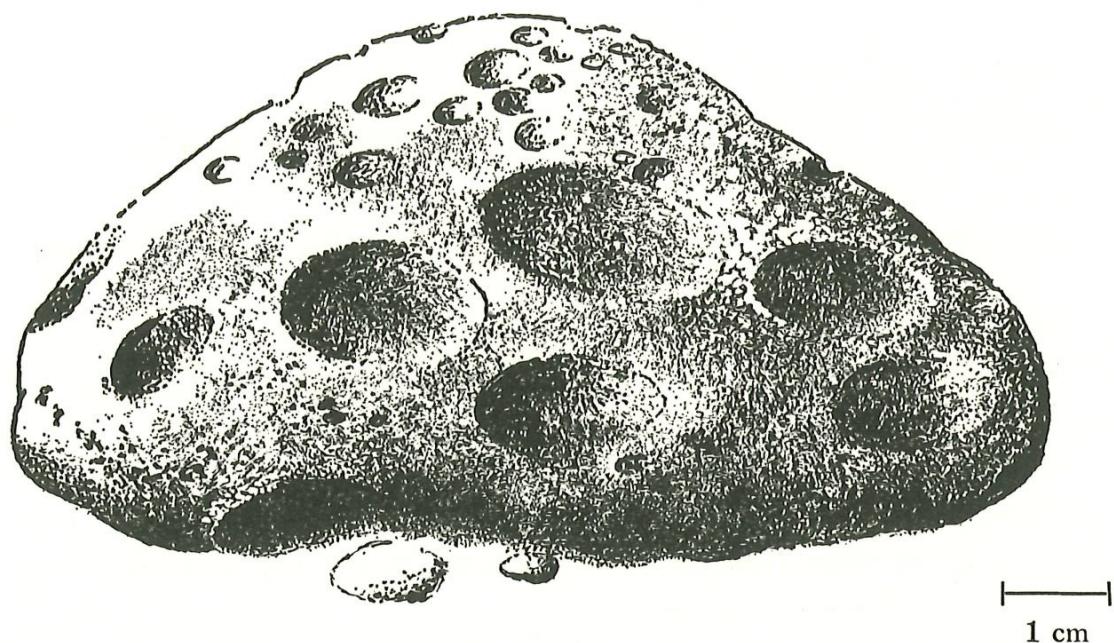


Abb. 3 Nagelfluhgeröll mit «Eindrücken». Es sind vor allem Dolomit- und Kalkgerölle, die schöne Eindrücke, scharf ausgeschnittene, grubenartige Vertiefungen in der glatten Gerölloberfläche aufweisen. Gerölle mit Eindrücken finden sich dort in der Nagelfluhbank, wo im Bindemittel der Sand fehlt oder nur spärlich vorhanden ist. Waren die Gerölle schon zur Zeit der Ablagerung nicht in Sand eingebettet, so übertrug sich der Ueberlagerungsdruck an den Berührungs punkten der verschiedenen Gerölle untereinander. An diesen Berührungs punkten wurde die Gerölloberfläche leicht zerstört; meist, jedoch nicht immer, wurde das Geröll mit kleinerem Krümmungs radius in die Oberfläche des benachbarten Gerölles «eingedrückt». An den Druckstellen wurde das Karbonat mobilisiert und herausgelöst. Es handelt sich somit bei der Entstehung der Eindrücke um einen vorwiegend chemischen Vorgang. (Das Geröll ist in natürlicher Grösse dargestellt.)

Die Art des Gesteins, aus welchem die Gerölle bestehen, liefert Rückschlüsse über die geologische Beschaffenheit des Einzugsgebietes der Molasseflüsse. Da ja die Molassesedimente, mit denen wir uns hier befassen, nichts anderes als den Abtragungsschutt des werdenden Alpengebirges darstellen, können wir uns ein gewisses Bild machen von der Geologie dieses Gebirges vor mehr als 10 Millionen Jahren. Weit aus die meisten Gerölle, die wir in einem Nagelfluhaufschluss finden, sind atypisch, d.h. sie verraten uns nichts sicheres über ihre genauere Herkunft. Nach Möglichkeit suche man daher nach sogenannten «Leitgeröllen», das sind Gerölle, die uns erlauben, mit einiger Sicherheit genauere Aussagen zu machen, aus welchen geologischen Einheiten, die wir heute in den Alpen unterscheiden, sie ursprünglich stammen. Für diejenigen, die sich dafür besonders interessieren und den geologischen Bau der Alpen etwas kennen, seien in der folgenden Tabelle

<i>Gesteine:</i>	<i>Wahrscheinliche Herkunft:</i>
Ophiolithe	Platta-Decke, evtl. Aroser Schuppenzone, hochpenninisch
Rote Granite	Bernina Decke
Roter Quarzporphyr	Err-Bernina-Decke, unterostalpin
Grüne Granite	Albula-Julier-Granite
Violettrote, zäh verbackene Buntsandsteine	Ostalpine, wahrscheinlich oberostalpine Trias
Verrukanoartige Gerölle	Ostalpines Perm, bis unterste Trias
Dunkle, schwarze, dichte Kalke	Arlberg-Kalke
Dunkelgrau-gelbliche monogene Dolomitbrekzien	Ostalpiner Hauptdolomit
Rhätiumachellenbrekzie	Ostalpines Rhät
Bunte, rote bis graurote Kalke	Ostalpiner Lias, Neocom der Klippendecke
Radiolarite	Ostalpiner Malm
Tristelähnliche Kalke	Urgon der Falknis-Sulzfluh-Decke, Oberkreide des penninischen Kreides
Polygene Flyschbrekzien	Glarner Flysch, Wägitaler Flysch
Flyschsandsteine, Flyschsandkalke, Flyschmergelkalke	
Flyschkalke	
Gelbbraun verwitternde Nummulitenkalke	Einsiedler Nummulitenkalkriffe, Südhelvetischer Flysch, aber auch ähnlich südalpinem Eozän

die wichtigsten Gesteinsarten in den Nagelfluhen der OSM, die einen gewissen Leitwert besitzen, kurz zusammengestellt.

Das genaue Studium der Molassensedimente liefert uns den Schlüssel zur Entstehungsgeschichte der Alpen!

Wir stützen uns bei dieser Analyse allerdings auf ein Grundprinzip der geologischen Forschung. Wir nehmen an, dass in früheren geologischen Zeiträumen die gleichen Kräfte wirksam waren und sich somit im Prinzip die gleichen Vorgänge an der Erdoberfläche abgespielt haben wie heute. Wenn wir in einer Nagelfluhbank gerundete Gesteinstrümmer antreffen, so fragen wir uns in Gedanken: «Wo finden wir heute gerundete Gesteinstrümmer?» Wir finden sie heute dort, wo Gesteinstrümmer im bewegten Wasser transportiert wurden, zum Beispiel an der Küste des Meeres oder in Flussbetten. Wir folgern nun nach dem sogenannten *Aktualitätsprinzip*, dass das Material unserer Nagelfluhbank einst an der Küste des Meeres oder in einem Flussbett abgelagert wurde.

Die Gesteine sind die Urkunden, auf die der Geologe sich stützt. Jedes Gestein ist aber das Ergebnis eines Vorganges in der Zeit und trägt sozusagen – wie alles in der Natur – seine Geschichte in sich. Mit Hilfe des Aktualitätsprinzips schliesst der Geologe anhand des Gesteins auf die *Vorgänge*, die zur Entstehung des betreffenden Gesteins geführt haben.

Ein zweites, sehr wichtiges Prinzip, mit dem der Geologe arbeitet, ist das sogenannte *stratigraphische Prinzip*: Es besagt, dass bei normaler Lagerung eine Schicht B jünger ist als die darunterliegende Schicht A, dass sie aber älter ist als die darüberliegende Schicht C. Aus der *räumlichen Aufeinanderfolge* schliessen wir auf eine *zeitliche Abfolge*. Die Schichten unter der Nagelfluhbank entstanden somit früher als die Nagelfluhbank selbst.

Wie entscheiden wir, ob die Nagelfluh im Meer oder in einem Fluss entstanden ist? Wir sehen dies den Gerölle nicht an. Hier müssen wir ein weiteres Hilfsmittel des Geologen zu Rate ziehen: Die *Fossilien*. Man versteht darunter die versteinerten Ueberreste früher Lebewesen, also Ueberreste von Tieren und Pflanzen, die damals gelebt haben, als die betreffenden Schichten, in welchen wir sie heute finden, abgelagert wurden.

Vergebens suchen wir in den Nagelfluhbänken am Pfannenstiel nach versteinerten Meerestieren. Ueberhaupt finden wir in den Molas-seschichten im Gebiet von Meilen nur sehr selten Versteinerungen, am ehesten noch verkohlte Pflanzenreste, Aeste und Stammstücke oder Abdrücke von Blättern in Sandstein, ganz selten einmal ein Stück Knochen oder einen Zahn eines Wirbeltieres. Neben andern Anzeichen kommen wir zum Schluss, dass die Gerölle in den Nagelfluhbänken am Pfannenstiel in Flüssen abgelagert wurden. Die Nagelfluhbänke sind nichts anderes als uralte, versteinerte, mit Kies und Sand erfüllte,

breite, 5–10 m tiefe Flussbette aus der Tertiärzeit. Welch gewaltige Veränderungen haben sich in unserer Landschaft abgespielt, wenn wir uns vorstellen, dass einst vor 10–15 Millionen Jahren grosse Flüsse im Gebiet des Pfannenstiels durchgeflossen sind! Unvermutet entfliegen da unsere Gedanken in ungeahnte Fernen und Zeiten! Kann man es dem Geologen verargen, wenn er, umgeben von seinem Gestein, zum Träumer wird, wenn ihm hie und da die Phantasie durchbrennt? Wohl kaum. Zu gewaltig sind die Vorgänge, die er aufdeckt, zu gewaltig sind die Zeiträume, die er erahnt, als dass er nur mit kaltem Verstand dabeisein kann!

b) Die Sandsteine

Sandsteinbänke treffen wir in der Molasse von Meilen sozusagen auf Schritt und Tritt. Sie bilden in den meisten Fällen die Unterlage der Terrassen, die für das Meilener Landschaftsbild so charakteristisch sind (s. Abb. 4, 5, 6). Erwähnt seien die Terrassen von Au, Stocklen, Unot, Banholz, Althau, Burg, Hürnen, Holengass, Im Luft, Trünggeler, Bünishofen, Bettelen, Stockenweid. In verlassenen Sandsteingruben oder dort, wo diese Bänke die Tobel des Dorfbaches oder des Beugenbaches queren, sind die Sandsteine zugänglich und gut zu beobachten. Wir können zwei Arten von Sandstein unterscheiden: Die Knauer-sandsteine und die Mergelsandsteine. Die *Knauersandsteine* sind hervorgegangen aus reinen, sauber geschlämmten Sandablagerungen in Flussbetten und sind in ihrer Entstehung genau mit den Nagelfluhen zu vergleichen, nur führten die Flüsse ausschliesslich Sand, keine Gerölle. Ihren Namen – schon Hans Conrad Escher v. d. Linth spricht 1795 von Knauersandsteinen – erhielten sie durch die brotlaibförmigen härteren Partien, die als *Knauer* bezeichnet werden. Je nach Menge und Güte des Kalkzementes sind die Sandkörner besser oder schlechter verkittet, der Sandstein härter oder leicht zerreibbar. Knauer sind gut verkittete Sandpartien in weicher Umgebung. Sie leisten der Verwitterung, die den Kalkzement im Laufe der Zeit herauslöst, länger Widerstand und ragen aus der Sandsteinwand hervor (s. Abb. 5). Die Mächtigkeit der Knauersandsteinbänke kann seitlich rasch wechseln und schwankt zwischen zwei bis zehn Metern.

Etwas anderer Entstehung sind die *Mergelsandsteine*. Sie sind meist gut gebankt, zeigen keine Knauerbildung und können über weite Distanzen in gleichbleibender Mächtigkeit durchziehen. Die nähere Untersuchung zeigt, dass sie stets mit tonigem Material verunreinigt sind. Sie sind aus einem verschlammt Sand hervorgegangen. Ihre Entstehung verdanken sie ausgedehnten Ueberschwemmungen. Man

macht oft die Beobachtung, dass Knauersandsteine gegen oben in Mergelsandsteine übergehen. Gegen die tieferliegenden Schichten sind die Knauersandsteine stets mit scharfer unregelmässiger Auflagerungsfläche abgegrenzt. Knauersandsteine sind grau. Mergelsandsteine gelblichgrau gefärbt.

c) Die Mergel

Sie machen in unserem Gebiet gut die Hälfte aller Molassegesteine aus. Sie sind aus Schlammbablagerungen hervorgegangen; weitaus in den meisten Fällen handelt es sich um Schlammbablagerungen im *Ge-folge von grossen Ueberschwemmungen* der Molasseflüsse. Schlammm ist nichts anderes als feinstes, zerriebenes Gesteinsmaterial, welches die Flüsse als Flusstrübe mit sich führten. So wie heute der Schlammm meist durch Sand verunreinigt ist, enthalten auch die Molassemergel meist mehr oder weniger starke Beimengen von Sand und Silt (Mehlsand). Der Schlammm war kalkhaltig. Je nach Kalkgehalt wurden die daraus entstehenden Mergel bröckelig hart, oder sie blieben tonig weich. Ueberschritt der Karbonatgehalt 60 %, so entstand aus dem Schlammm ein harter Mergelkalk. Wir finden daher alle Uebergänge von weichen Mergeln bis zu harten Mergelkalken. Die Farbe der Mergel ist vorwiegend graugelb und verleiht der ganzen Molasse ihre charakteristische Färbung. Rote bis violettrote Farbtöne sind hie und da zu beobachten. Es sei auf die 2 m mächtigen, intensiv roten Mergel im Beugentobel, Kote 510 m, hingewiesen oder auf die rote Mergelzone am Wulphügel im Küsnachertobel auf Kote 500 m.

Des öfteren trifft man dunkelgraue bis schwärzliche Mergelschichten an. Sie enthalten verkohlte, organische Substanz, meist von Pflanzenresten. Hie und da kann man in ihnen auch fossile Schalenreste von Landschnecken, ganz selten und mit viel Glück, einmal auch Zähnchen und Knochen von Landsäugetieren finden. In den meisten Fällen handelt es sich bei den schwärzlichen Mergelschichten um fossile Bodenbildungen aus der Molassezeit. Als Beispiele seien erwähnt: die schwarze Mergelschicht im Mülihölzli, Kote 520 m, unter der Knauersandsteinbank, die dort auch Schwemmholt enthält und die bituminösen sandigen Mergel auf Kote 545–560 m. Hie und da finden sich grüne, tonige Mergelschichten, die meist ziemlich karbonatarm sind: auch diese können selten fossilführend sein.

In feuchtem Zustand sind die Mergel sehr weich, trocken jedoch bröckelig hart. Sie verwittern leicht, die Pflanzen können rasch Fuss fassen, so dass gute Aufschlüsse in Mergeln recht selten sind, obwohl sie so häufig vorkommen.

d) Die Kalke

Es lassen sich folgende Typen unterscheiden:

1. *Die Knollenkalke*

Es handelt sich um weissliche bis rötliche und – wie der Name aneutet – knollige Kalke, die aus kalkigen Mergeln hervorgehen können und meist etwas sandige Beimengungen enthalten. Beispiele: Der weissliche Kalk im Rossbach, Kote 445 m, dieselbe Schicht im Dorfbachtobel auf Höhe 460 m. Bei Hinter Pfannenstiel finden wir im Tobel, das von der Eichhalde herunterkommt, auf 720 m ü. M. einen hellbeigen Knollenkalk. Er zieht unter dem Pfannenstiel durch und ist im Tobel am Schufelberg auf der gleichen Höhe anzutreffen. Ueber die Entstehung der Knollenkalke sind sich die Geologen noch nicht ganz im Klaren. Es wäre sehr wohl möglich, dass es sich um Krustenkalke, sogenannte Exsudationskalke handelt, wie sie heute noch im Mittelmeergebiet entstehen.

2. *Die Mergelkalke*

Es handelt sich um gut geschichtete, siltige, mergelige Kalke, abgelagert in ruhigem Wasser. Typischer Vertreter ist der *Meilener Kalk*, seinerzeit so benannt¹, weil er in Meilen in charakteristischer Ausbildung vorkommt und auch gut aufgeschlossen ist. Es handelt sich stratigraphisch um eine der bedeutsamsten Schichten der ganzen Molasse. Im Gebiet von Meilen zieht dieser Horizont stets zirka zwei Meter mächtig, vom Plätzli, wo er aus dem See auftaucht, unter dem neuen Friedhof bei Obermühl durch, über die Bruechstrasse - Justrain zum Giessen im Beugentobel (er bildet hier die harte Schicht, über welche das Wasser hinunterstürzt), weiter über Appenhalde - Tuntelen bis Linden (Uetikon). Diese selbe Schicht konnte vor einigen Jahren durch den Schreibenden auch jenseits des Zürichsees, im Gebiet von Wädenswil - Horgen, im Sihltal bei Station Sihlbrugg, an der Reuss bei Obfelden, am Buechhoger ob Urdorf, am Schlierener Berg, an der Greppe südlich der Lägern, am Gubrist, bei Asp-Käshalde nördlich Seebach, am Büliberg, ferner im Gebiet von Esslingen - Grüningen aufgefunden werden.

3. *Stinkkalke*

Es sind dies braungelbe bis schwärzliche, reine Kalke (90–95 % CaCO_3) von 10–30 cm Mächtigkeit, hervorgegangen aus einer Seekrei-

¹ Siehe N. Pavoni: Geologie der Zürcher Molasse zwischen Albiskamm und Pfannenstiel. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, Jahrgang 102, Abhandlung 5, 1957, S. 117–315.

deablagerung. Dass es sich um limnische Bildungen, d.h. um eine Ablagerung in einem See handelt, darauf hin weisen unter anderem die Fossilien, die stellenweise in grosser Menge darin vorkommen. Es finden sich darin Posthornschnäcken (*Planorbis*), Sumpfschnecken (*Lymnaea*) und *Melanien*, hie und da Teichmuscheln (*Unio*), ferner auch Ueberreste von *Chara*-Algen, selten auch fossile Knochen von Fischen und Sumpfschildkröten, alles Organismen, die in stehendem Süßwasser leben. Wir erhalten dadurch erneut interessante Hinweise über die Verhältnisse, unter denen die Molassesedimente abgelagert wurden. Die bräunliche Färbung wird hervorgerufen durch den Gehalt an organischer Substanz. Zerreibt man ein, wenn auch noch so kleines Stück dieses Kalkes, so macht sich sofort ein starker, petrolartiger Geruch bemerkbar. Diese typische Eigenschaft hat dem Gestein den Namen gegeben: Stinkstein, Stinkkalk (H.C. Escher von der Linth, 1795).

Die nächstgelegenen Vorkommen von Stinkkalken finden sich im Heslibach ob Küsnacht, Kote 560 m, und im Küsnachtertobel, Kote 540 m.

4. Algenkalke

Im Bach, der vom Esslingerberg (südlich Ausser-Vollikon) gegen Felsengrund fliesst, findet sich auf Kote 530 m (Koord. 696,25/237,23) ein etwa ½ m mächtiger, knolliger, sehr zäher, brauner Kalk. Die Knollen sind erbs- bis faustgross und konglomeratisch miteinander verbacken. Im Querschnitt – am besten im polierten Anschliff – zeigen die meisten Knollen konzentrische Strukturen. Es handelt sich um fossile Blaualgenknollen (*Rivularia* sp.). Derartige Algen finden sich heute in klaren Gewässern, z.B. im Bodensee und im Untersee.

e) Molassekohlen

Es ist zu unterscheiden zwischen autochthonen, d.h. durch Anhäufung organischen Materials «an Ort und Stelle» in Sumpfgebieten entstandenen Kohlenflözen und allochthonen, d.h. verfrachteten Schwemmkohlen.

Berühmt und seit dem 16. Jahrhundert bekannt ist jenseits des Sees das Kohlenflöz von Käpfnach-Gottshalden. Bis 1945 sind in diesem ältesten und grössten Molassekohlenbergwerk der Schweiz gegen eine halbe Million Tonnen Kohle gefördert worden. Es gelang uns 1953, das Käpfnacher Kohlenniveau auch auf der rechten Zürichseeseite, im Bach, der von Uetikon gegen Dollikon hinunterfliesst, auf Kote 425 m (Koord. 693,11/235,55) aufzufinden. Das Niveau liegt etwa 10 m unter der mächtigen Ophiolith-Nagelfluh von Uetikon, welche

die Terrasse von Uetikon-Kirchbühl-Kleindorf bis Auf Dorf-Mändorf bildet. Die Auffindung des Niveaus dürfte allerdings nur von rein geologischem Interesse sein, denn das Flöz ist taub. Das Flöz liegt schichtenmässig 60–65 m unter dem Meilener Kalk. Wirtschaftlich ganz ohne Bedeutung, für den Geologen aber recht aufschlussreich sind die Schwemmkohlen, die wir hie und da nesterweise in Knauersandstein und Nagelfluhbänken antreffen. Es sind fossile, zusammengeschwemmte Ueberreste von Aesten, Stämmen und Blättern die zu kleinen bis kopfgrossen Stücken reiner, schwarzglänzender Kohle umgewandelt wurden. Kohleführend sind im Gebiet von Meilen: Die Knauersandsteinbank im Mülihölzli, Kote 535 m, ferner die Sandsteinbank, die vom Holländer, Höhe 555 m, über Chessler, 560 m gegen Hinter Brand, 570 m, zieht. Sie lieferte seinerzeit guterhaltene Versteinerungen von Blättern (s. Abb. 6).

f). Vulkanische Tuffe

Im Küschnachter Tobel konnte im Jahre 1955 vom Verfasser eine Lage vulkanischen Tuffs entdeckt werden. Es handelt sich um einen Bentonithorizont von durchschnittlich 10 cm Mächtigkeit. Die Tuffschicht liegt auf Kote 510 m an der Basis des Wulphügels (Koord. 688,07-688,26/241,75 - 241,96). Sie kann auf dieser Höhe auf beiden Seiten des Tobels wie auch in den Tobeln der beiden Nebenbäche, welche linksseitig am Fusse des Wulphügels in den Dorfbach münden, mehrere hundert Meter weit verfolgt werden. Die grösste Mächtigkeit von 16 cm wurde am Nordabfall des Wulphügels gefunden.

Es handelt sich um eine Schicht vulkanischer Asche, die durch eine grosse vulkanische Eruption ausgeblasen und durch den Wind über ein grosses Gebiet, möglicherweise mehr als 100 km weit, verweht

Abb. 4 Charakteristische Terrasse bei Unot. Blick vom künstlichen Hügel des Wasserreservoirs bei Banholz gegen Südosten über die ebene Terrassenfläche. Rechts Abfall der Terrasse Richtung See. Links Hohenegg, Geländestufe im Uebergang zur nächst höheren Terrasse. Es ist stets dieselbe Sandsteinbank, welche die Unterlage der Felder im Mittelgrund bildet. Sie liegt stratigraphisch ca. 85 Meter über dem Niveau des Meilener Kalkes (vergl. Abb. 6). Mit dem Gefälle der Sandsteinschicht fällt die Terrassenfläche leicht nach Nordwesten ab. Leider sind die meisten Terrassen im Gebiet von Meilen durch den Eingriff des Menschen, d.h. durch Ueberbauung mit Häusern und Strasseneinschnitte, bereits weitgehend zerstört. Möge es gelingen, die eine oder andere Terrasse der Nachwelt ungeschmälert zu erhalten! (S. 127 oben)

Abb. 5 Aufschluss im Knauersandstein an der Au-Strasse bei Stocklen. Die Sandsteinbank bildet die Unterlage der Stocklenterrasse. (S. 127 unten)



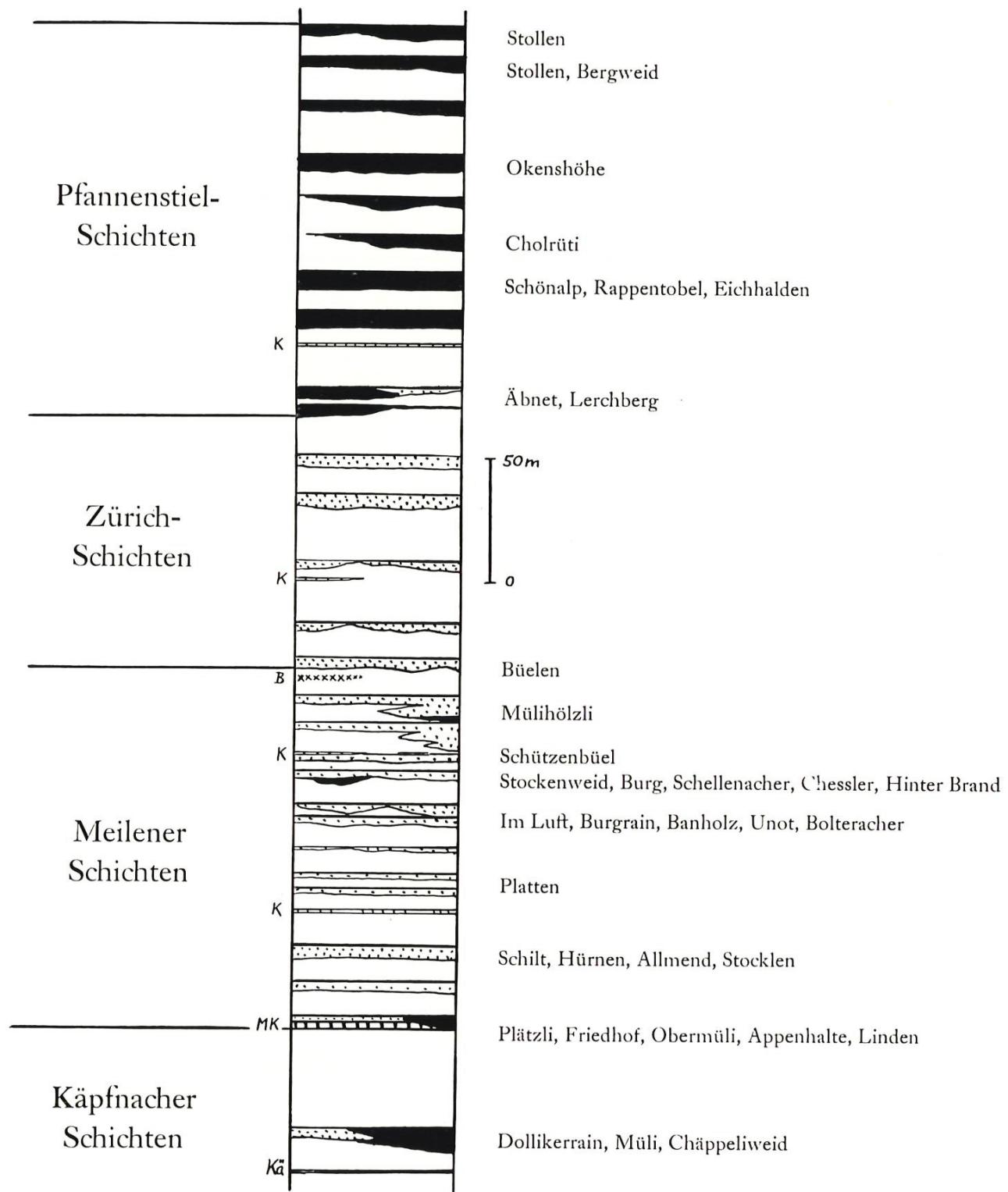


Abb. 6

wurde, bevor sie sich absetzte. Das Material bestand aus feinzerstäubtem, vulkanischem Glas, das später zu Montmorillonitton, sogenanntem *Bentonit*, verwitterte. In den letzten Jahren wurden weitere Vorkommen dieses selben vulkanischen Horizontes gefunden, so im Erlenbachtobel auf Kote 545 m, jenseits des Pfannenstiels im Tobel ob Maur auf Kote 520 m, am Milchbuck, im unteren Reppischtal und andern Lokalitäten. Man weiss heute noch nicht, wo die Eruptionsstelle sich befand.

Ein weiterer vulkanischer Tuffhorizont konnte letztes Jahr am Osthang des Albis, ob Leimbach, aufgefunden werden. Er liegt stratigraphisch (vergl. S. 121) etwa 130 m über dem Küsnachter Bentonit und ist damit wesentlich jünger als dieser. Der Leimbacher Tuff ist in seiner chemischen Zusammensetzung dem Küsnachter Tuff verwandt. Es handelt sich ebenfalls um einen verwitterten, sauren Glasaschen-tuff.

Durch das Vorkommen dieser vulkanischen Bildungen innerhalb der Zürcher Molasse ist ein wenigstens zweimaliges, zeitlich deutlich getrenntes Auftreten vulkanischer Aktivität während der Ablagerung der OSM nachgewiesen.

Die Landschaft zur Zeit der Ablagerung der Molasseschichten

Auf Grund der verschiedenen Gesteinsarten und anhand der in den Molasseschichten auftretenden Versteinerungen können wir uns – dem Aktualitätsprinzip folgend (vergl. S. 121) – ein recht gutes Bild von der Landschaft der Molassezeit machen.

Seien wir uns bewusst, dass die Landschaft und die Vorgänge, die wir im folgenden kurz zu schildern versuchen, 10–15 Millionen Jahre zurückliegen! Kein Mensch kann sich solche Zeiträume vorstellen. Es sei daher zuvor ein kleiner Vergleich gestattet: Der höchste Punkt am Pfannenstiel liegt laut Uebersichtsplan der Gemeinde Meilen 852,8 m über Meer, somit 446,8 m über dem Zürichsee. Setzen wir diese 450 m Gesteinssäule den 15 Millionen Jahren gleich, so erscheinen im Ver-

Abb. 6 Stratigraphisches Sammelprofil durch die Schichten der Oberen Süßwassermolasse zwischen Zürichsee und Pfannenstiel. Schwarz: Nagelfluhbänke. Punktiert: Knauersandsteinbänke. Weiss: Mergel und Mergelsandsteine. Kleine Kreuze: Küsnachter Bentonit (B). K = Kalke, MK = Meilener Kalk, Kä = Käpfnacher Kohlenhorizont. Bei den auf der rechten Seite des Profils aufgeführten Lokalitäten ist die betreffende Schicht entweder gut aufgeschlossen oder sie bildet die direkte Unterlage der genannten Terrasse.

gleich dazu die 1963 Jahre unserer Zeitrechnung wie die obersten 6 cm dieser Gesamthöhe! Die rund 6000 Jahre menschlicher Geschichte sind im Vergleich zu den in Frage stehenden Zeiträumen wie die Humusdecke an einer Stelle, wo sie sehr dünn ist, im Vergleich zur Gesamthöhe des Pfannenstiels!

Was zunächst überrascht, ist die Tatsache, dass die 500 m mächtigen Sedimente, die im Gebiet von Meilen vom Zürichsee bis zum Pfannenstiel hinauf aufeinanderfolgen, in ihrer Ausbildung und Entstehungsweise eine ganz erstaunliche Einheitlichkeit aufweisen (vergl. Abb. 6). Dies gilt überhaupt für die gesamte Obere Süsswassermolasse (OSM). Irgendwelche wesentliche Unterschiede in der generellen faziellen² Ausbildung der Gesteine zwischen den tieferen und höheren Partien der OSM lassen sich nicht feststellen. Gerade dieser Umstand muss bei einer, gegen 1000 m mächtigen Gesteinsserie auffallen, sollte man doch annehmen, dass allein schon durch die Ablagerung einer solch mächtigen Schichtserie sich Differenzen in den Ablagerungsbedingungen zeigen müssten. Insbesondere müssen die Reliefverhältnisse zur Zeit der Molassesedimentation im grossen stets die gleichen gewesen sein. So zeigen die Knauersandstein- und Nagelfluhrinnen, welche in unserem Gebiet kaum je 10 m Mächtigkeit überschreiten, dass die Molasseflüsse ihren Lauf meist weniger als 10 m tief in die umgebende Landschaft eingeschnitten hatten. Dafür waren es meist breite Flussbette. Dieser Umstand und das beobachtete weite Durchziehen gewisser Schichten verhelfen uns zu wichtigen Schlussfolgerungen über das Aussehen der Landschaft zur Zeit der Ablagerung der Oberen Süsswassermolasse. Eine weitausgedehnte, äusserst flache *Schwemmlandebene* erstreckte sich am Fusse des damaligen Alpengebirges, weit gegen Norden über das Gebiet des heutigen Faltenjura hinweg, welcher damals noch nicht existierte. Zudem lag der miozäne Alpenrand noch beträchtlich weiter im Süden als heute. Die Schwemmlandebene reichte von Lyon im Westen bis gegen Wien im Osten. Die Existenz einer so weiten, flachen, kaum durchhalten Ebene während vielen Jahrtausenden und die Tatsache, dass es trotz der allmählichen Anhäufung mächtiger Sedimentmassen nie zu einer stärkeren Durchtalung gekommen ist, die Ablagerungshöhe somit nur unbedeutende Schwankungen erfuhr, zwingen uns zur Annahme, dass der Molassetrog der jüngeren Miozänzeit sich langsam, aber ständig abgesenkt haben muss. Diese Ab-

² Unter der Fazies (lat. facies = Gesicht) eines Gesteins versteht man die Gesamtheit aller Merkmale des Gesteins, wie z.B. Ausbildung der Mineralien, Fossilinhalt, welche Rückschlüsse über Entstehungsort und -weise des betreffenden Gesteins zu ziehen erlauben.

senkung war eine Kompensationsbewegung zum langsamen, steten Emporsteigen des gesamten Alpenkörpers. Sie erfolgte so langsam, dass die Absenkungsbeträge durch die Ablagerungen der alpinen Flüsse wettgemacht wurden. Die Absenkungen waren in gewissen Zonen, wenigstens zeitweise, stärker als in den übrigen Gebieten. Diese Absenkungen haben in erster Linie die Verteilung des Geschiebematerials im Vorland draussen dirigiert und so das Bild der Molassesedimentation gezeichnet.

Welches war die ursprüngliche Ablagerungshöhe der obermiozänen Molassesedimente? Auch darüber lassen sich einige Aussagen machen. Obwohl wir in der Zürcher Molasse keine eindeutigen marinen Spuren gefunden haben, lässt sich doch mit einiger Wahrscheinlichkeit annehmen, dass die Sedimentation des OSM nicht viel über Meereshöhe erfolgte.

Die Schwemmlandebene im Vorland der Alpen wurde, sei es im Gefolge von Hochwasser oder von Absenkungsvorgängen im Molasetrog, immer wieder von grossen Ueberschwemmungen heimgesucht, während welchen vorwiegend die mergelhaltigen Gesteine der Molasse abgelagert wurden. Auf diese Ueberschwemmungsperioden folgten Zeitabschnitte, in denen weite Landstriche vollständig trocken lagen. Das vorhandene Wasser sammelte sich in vereinzelten Rinnalen, welche sich ihrerseits zu Flüssen vereinigten, die sich wegen des ausserordentlich geringen Gefälles nur sehr wenig, kaum einige Meter in die Schwemmlandebene einzutiefen vermochten. In den breiten Rinnen pendelte der Fluss hin und her, schuf Sekundärrinnen, schüttete sie wieder zu, erweiterte seitlich sein Bett und lagerte das weggerissene Mergelmaterial als Mergelgeröll irgendwo in seinem Lauf wieder ab. Durch den fluviatilen Transport wurde das Sand- und Kiesmaterial gewaschen. Aus den Ablagerungen in den miozänen Flussbetten entstanden die Knauersandsteine und Nagelfluhen der Zürcher Molasse.

Weil es vorwiegend in den Perioden geringer oder fehlender Schüttungsintensität überhaupt zu Rinnenbildung kam und sich die Aktivität des Wassers und die damit verbundenen Veränderungen nur auf diese Rinnen beschränkte, möchte ich diese Perioden als *Rinnenphasen* der Molassesedimentation bezeichnen. In den Rinnenphasen der jüngeren Miozänzeit lagen weite Landstriche trocken und erfuhren, je nach der Dauer der Phase, eine mehr oder weniger intensive Verwitterung und teilweise Erosion, die höchstens einige Meter erreicht haben dürfte. Verwitterungerscheinungen wie Rotfärbungen, Roterdebildungen, auffallend karbonatarme Schichten, fossile Trockenrisse u.a. können in den Molassesedimenten häufig beobachtet werden. Die gut

erhaltenen Helizidenschalen beweisen, dass die Schnecken einst dort an Ort und Stelle gelebt haben. Ebenso konnten überall zerstreut im Untersuchungsbereich Reste von Landtieren und Landpflanzen gefunden werden. In den auf die Rinnenphasen folgenden schüttungsintensiven *Ueberschwemmungsphasen* wurden vorerst die bestehenden Rinnen aufgefüllt. Diese waren schon von der Rinnenphase her teilweise mit gut gewaschenem Sand und Kies in mannigfaltiger Lagerung erfüllt. Der Rest der Rinne wurde nun rasch und einheitlich mit gröberem Material aufgefüllt, wobei sich ein gewisser Tongehalt als Folge der Trübung des Flusswassers während des Hochwassers bemerkbar macht. In der Hauptphase der Ueberschwemmungen wurden die flachen Gebiete beidseitig der Rinne weiträumig überschwemmt und blieben mit Wasser bedeckt. In diesen flächenhaft überfluteten Gebieten gelangte der Grossteil der mergelhaltigen Gesteine zum Absatz, wie dies vergleichsweise Beobachtungen bei heutigen Ueberschwemmungen, zum Beispiel des Po, deutlich zeigen. Somit gelangten gerade in Zeiten starker Schüttungsintensität vorwiegend die Mergelsandsteine und die gewöhnlichen Mergel zum Absatz.

Während der Ablagerung der Zürcher Molasse konnte aber auch der Fall eintreten, dass nach einer grossen Ueberschwemmung weite Gebiete wegen des fehlenden Gefälles noch lange Zeit mit Wasser bedeckt blieben. Es entstanden ausgedehnte Sümpfe und untiefe Seen, in welchen das Wasser nur eine ganz leichte Strömung besass. Es kam hier somit nicht zur Entstehung von Rinnen, welche das Gebiet kanalisiert und entwässert hätten. Die flächenhafte Wasserbedeckung blieb über längere Zeit erhalten oder vermochte sich sogar noch weiter auszudehnen. An Stelle der Rinnenphase trat eine *limnische Phase* (Seen-Phase). In gewissen Fällen, wo, wie beim Meilener Kalk, die Wasserfläche sich über hunderte, ja mehr als tausend Quadratkilometer ausdehnte, waren wohl tektonische Vorgänge mitverantwortlich: Ein senkung des Molassetroges in erster Linie, verbunden mit der beginnenden ersten leichten Heraushebung des Juragebirges und der damit verknüpften vollständigen Unterbindung des Gefälles. Diese Seen sind natürlich nicht zu vergleichen mit den heutigen Seen des Mittellandes. Sie waren wohl sehr ausgedehnt, aber ganz untief und äusserst flachgründig; denn sie stellten nichts anderes dar, als unter Wasser gesetzte Abschnitte der Schwemmlandebene.

Es dürfte von Interesse sein, noch einige Ueberlegungen über die Sedimentationsgeschwindigkeit anzustellen. Für die Ablagerung der gesamten etwa 1000 m mächtigen OSM kann nach den heutigen Kenntnissen ein Zeitraum von etwa 4–8 Millionen Jahren angenommen

werden. Es ist aber falsch, die Zahl der Jahre einfach durch die Schichtmächtigkeit zu dividieren und so für die Ablagerungszeit pro Zentimeter Sediment eine durchschnittliche Anzahl von Jahren zu errechnen. Wir haben gesehen, dass die Molassesedimente ganz verschieden rasch abgelagert worden sind. Betrachten wir zum Beispiel das gut aufgeschlossene Falätschenprofil: 75 % der Gesteine sind rasch abgelagerte Inundationssedimente (= Ueberschwemmungsablagerungen, deren Sedimentation im Vergleich zu den Millionen von Jahren sozusagen keine Zeit beanspruchte. Die Entstehung der restlichen 25 % hat lange Zeiträume umfasst. Auf 100 m Schichtmächtigkeit treffen wir im Profil der Falätsche mit auffallender Regelmässigkeit ungefähr 12 deutliche Erosionsdiskordanzen und etwa 15 bituminöse Horizonte, die ebenfalls einen Unterbruch in der Molassesedimentation andeuten. Nehmen wir für die 1000 m Mächtigkeit 120 bis 150 Erosionsdiskordanzen an, welche je einer Rinnenphase entsprechen, so erhalten wir als mittlere Dauer einer solchen Phase 40 000 bis 50 000 Jahre. Die Sedimentation der Molasse war, wie auch aus diesen Zahlen hervorgeht, unterbrochen von langen Zeiträumen der Ruhe, ja selbst beträchtlicher Erosion.

Die Gliederung der Molasseschichten im Gebiet von Meilen

Die Molasseschichten im Gebiet von Meilen gehören zur Zürcher Molasse, d.h. im weitern Sinne zur Oberen Süsswassermolasse des Kantons Zürich. Eine Gliederung der recht monotonen Molasseschichten fällt nicht so leicht. Doch ist gerade das Gebiet zwischen Zürichsee und Pfannenstiel dafür am besten geeignet. Auch ist das Zürichseegebiet bis heute das einzige Gebiet in der Oberen Süsswassermolasse der Ostschweiz, wo wir mit Hilfe von guten Leithorizonten ein lückenloses Profil vom Südrand der Mittelländischen Molasse bis zum Jura-fuss durchgehend verfolgen können. Durch die 1960 durchgeführte Tiefbohrung ob Küsnacht sind wir auch nach der Tiefe hin über die Schichtabfolge recht gut orientiert (s. unten).

Eine erste Gliederung ergibt sich durch den wichtigen Leithorizont des Meilener Kalkes, der zu einem Niveau gehört, das aus dem Gebiet von St. Gallen im Osten bis zur Reuss im Westen und bis gegen die Lägern hin im Norden verfolgt werden kann! Mit dem Meilener Kalk beginnen die sogenannten *Meilener Schichten*, die im Gebiet von Meilen ca. 150 m mächtig sind (vergl. Abb. 6). Zuoberst enthalten die Meilener Schichten noch den vulkanischen Horizont des Küsnachter Bentonites. Ueber dem Küsnachter Bentonit folgen ophiolithreiche z.T.

konglomeratführende Sandsteine, welche den Beginn der *Zürich-Schichten* charakterisieren. Die Zürich-Schichten sind im Gebiet von Meilen etwa 100 m mächtig. Mit der mächtigen Nagelfluhschüttung im Aebnet ob Wetzwil beginnen die nagelfluhreichen *Pfannenstiel-Schichten*, die am Pfannenstiel ca. 170 m mächtig sind. Ueber den Pfannenstiel-Schichten liegen am Uetliberg die höchsten Molasseschichten, die sogenannten Uetliberg-Schichten. Die Schichten der OSM unterhalb des Meilener Kalkes werden als *Käpfnacher Schichten* bezeichnet, da in ihrem oberen Abschnitt das Kohlenniveau von Käpfnach liegt, das zahlreiche Fossilfunde von Säugetieren geliefert hat.

Wir gelangen damit zu folgender Gliederung der Zürcher Molasse:

Obere Abteilung der OSM	Uetliberg-Schichten Pfannenstiel-Schichten
Mittlere Abteilung der OSM	Zürich-Schichten Meilener Schichten
Untere Abteilung der OSM	Käpfnacher Schichten

Ueber die Abfolge der Schichten nach der Tiefe hin, hat uns die Tiefbohrung «Küsnaht 1» bei Limberg ob Küsnacht (Koor. 689'296/241'485), 641,96 m über Meer, ausgeführt vom 13. April 1960 bis 17. Juni 1960, wertvolle Anhaltspunkte geliefert (s. Abb. 1). Darnach sind die Molasseschichten am Pfannenstiel rund 3000 m mächtig. Das heisst, in einer Tiefe von etwa 2500 m unter dem Spiegel des Zürichsees folgen erst die Kalkschichten der oberen Juraformation, die am Südrand des Juragebirges auftauchen und zum Beispiel den Kamm der Lägern aufbauen.

Die Lagerung der Gesteinsschichten im Gebiet von Meilen

Wie wir gesehen haben, wurden die Molasseschichten im Gebiet von Meilen zwischen Zürichsee und Pfannenstiel im Verlaufe langer Zeiträume abgelagert. Ort ihrer Entstehung war die riesige, flache Schwemmlandebene am Fusse des tertiären Alpengebirges. Allerdings sah diese ganz anders aus als heute. Säntis, Churfürsten, Glärnisch, Pilatus, überhaupt die ganzen nördlichen Kalkalpen existierten noch nicht. Der Alpenrand lag viel weiter im Süden als heute. Im Norden gab es noch keinen Faltenjura; er entstand erst viel später.

An verschiedenen Stellen mündeten von Süden her Flüsse in die Schwemmlandebene und lagerten da ihr Schuttmaterial ab, so etwa

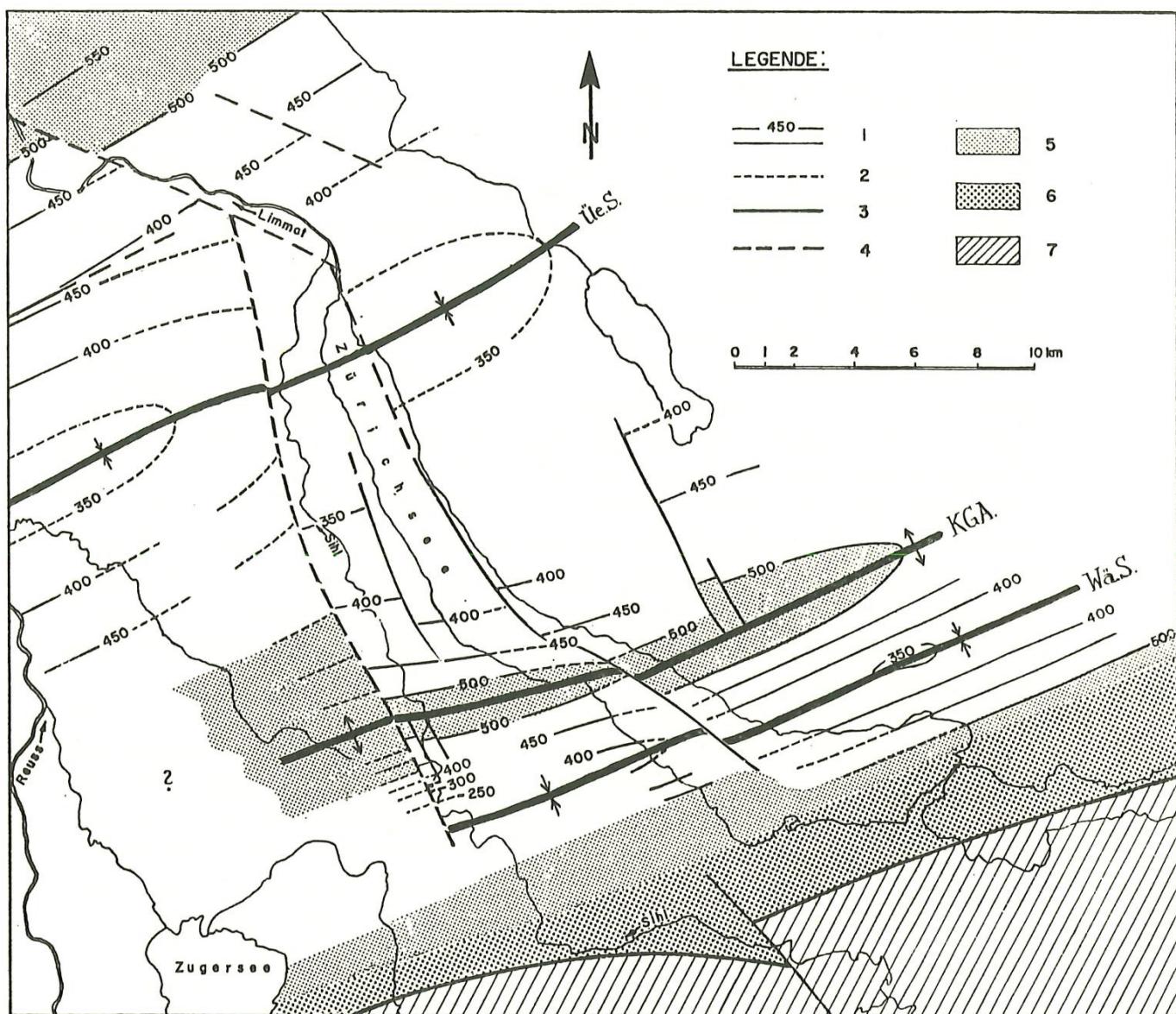


Abb. 7 Tektonisches Kärtchen des Zürichseegebietes und seiner weiteren Umgebung. Höhenkurven gezeichnet auf dem Niveau des Meilener Kalkes. Legende: 1 — Höhenkurven gesichert, Zahlen = Meter über Meer, Aequidistanz 50 Meter. 2 — Höhenkurven auf Grund stratigraphischer Zusammenhänge vermutet. 3 — Bruchlinien nachgewiesen. 4 — Bruchlinien vermutet. 5 — Meilener Kalk topographisch höher als 500 Meter liegend. 6 — Obere Meeressolasse und Untere Süßwassermolasse im Südschenkel des mittelländischen Molassetroges. 7 — Subalpine Molasse. Kräftige Striche mit Querpfeilen: Antiklinal- und Synklinalachsen, Ue.S. = Uetliberg-Synklinale, KGA. = Käpfnach-Grüninger Antiklinale, Wä. S. = Wädenswiler Synklinale.

im Gebiet des heutigen Napf, die Uraare, die ihr Einzugsgebiet im Oberen Wallis und im Tessin hatte. Im Gebiet des Zürcher Oberlandes mündete während Jahrtausenden ein weiteres grosses Flussystem, *der Urrhein*, der sein Einzugsgebiet im Bündnerland hatte. Das berichten uns die Nagelfluhgerölle am Pfannenstiel, denn wir finden darunter Gesteine, die sogar aus dem Oberengadin stammen.

Wir wissen ferner, dass die Molassesedimente nur wenig über dem Meeresniveau abgelagert wurden, und dass sie ursprünglich praktisch horizontal gelagert waren. Die Schichten liegen jedoch am Pfannenstiel heute 850 m über Meer, das heisst mit anderen Worten, die Molasse wurde im Gebiet des Zürichsees um mehr als 1000 m gehoben. Diese *Hebung* steht im Zusammenhang mit der letzten Phase gewaltiger Zusammenpressung im Alpengebiet, die zum Bau des heutigen Alpengebirges führte und die auch den Faltenjura geschaffen hat. Sie bedeutete für das Molasseland eine vollständige Umwälzung: aus einem Ablagerungsgebiet, wohin die Flüsse einst ihr Material brachten, wurde es zum Erosionsgebiet, aus welchem die Flüsse Material abtrugen und entfernten. Mit dieser Umwälzung, die sich vor wenigen Millionen Jahren abspielte, beginnt erst die Geschichte unserer heutigen Landschaft.

Die Schichten wurden aber nicht nur gehoben, sie wurden zugleich auch schiefgestellt, flach gefaltet und erst noch entlang Bruchflächen relativ zueinander verschoben (s. Abb. 7). Betrachten wir die Schicht des Meilener Kalkes: Sie steigt beim Plätzli (Feldmeilen) aus dem See auf, gewinnt über Uetikon gegen Süden, sanft aber gleichmässig mit 2–3 % Steigung an Höhe bis Männedorf-Auf Dorf. Hier liegt sie bereits in 535 m Höhe. Von da weg senkt sie sich nach Süden ab, zieht mit 12 % südlichem Gefälle durch das Rebgebiet des Lattenberges und taucht bei Hotwil unter das Niveau des Sees, um erst bei Feldbach wieder aus dem See aufzusteigen. Die Schichten bilden also zwischen Stäfa und Meilen ein grosses, flaches Gewölbe, dessen Scheitel in Ostnordost-West südwest-Richtung von Grüningen über Männedorf - Käpfnach - Station Sihlbrugg gegen Hausen am Albis zieht: *Die Käpfnach-Grüninger Antiklinale*. Unter Stäfa bilden die Schichten eine flache Mulde, die in ihrer Längserstreckung von Bubikon über Stäfa nach Wädenswil zieht: *Die Wädenswiler Synklinale*. Bei Zürich folgt die breite flache Mulde der *Uetliberg-Synklinale*.

Neben dieser weiträumigen, leichten Faltung erfuhr die Zürcher Molasse auch eine Zerbrechung. Schollenartig sind im Bereich der späteren Zürichtalung und im Glattal mächtige Gesteinspakete vertikal und horizontal aneinander verschoben worden. Die bumerangähnliche

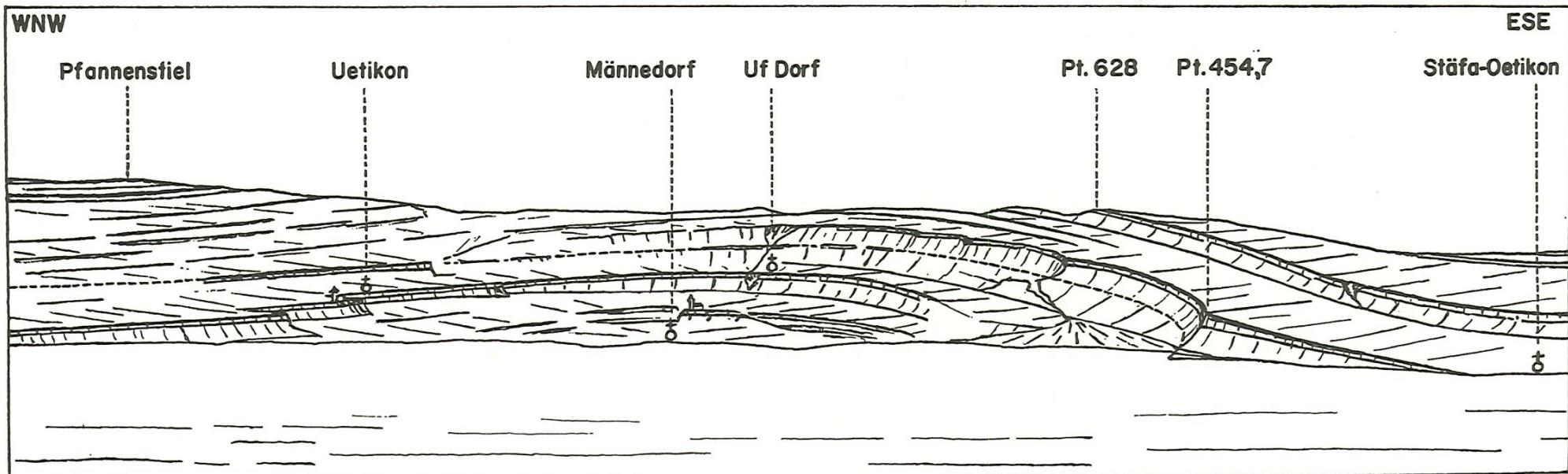


Abb. 8 Die Klus von Männedorf, gesehen vom linken Seeufer. Vereinfachte schematische Darstellung. Das Zürichseetal durchbricht zwischen Stäfa und Meilen einerseits und Wädenswil und Horgen andererseits die flache Molasseantiklinale, die sog. Käpfnach-Grüninger Antiklinale (vergl. Abb. 7), und bildet hier eine Klus. Gestrichelt das Niveau des Meilener Kalkes. Pt. 628 und Pt. 454,7 sind Punkte des Topographischen Atlases der Schweiz (Siegfried-Atlas).

Form des Zürichsees und der Zürichseetalung lässt sich durch dieses tektonische Bild der Molasse sehr gut erklären: Der südliche Teil des Sees im Abschnitt Richterswil-Rapperswil ist bedingt durch den Verlauf der Käpfnach-Grüninger Antiklinale und durch die Wädenswiler Synklinale (s. Abb. 7). Der nördliche Teil von Thalwil gegen Zürich ist bestimmt durch die Zerbrechung und Zerklüftung der Molasse in Nordnordwest-Südsüdost-Richtung. Im Abschnitt Wädenswil/Stäfa - Horgen/Meilen durchbricht das heutige Zürichseetal die -Käpfnach-Grüninger-Antiklinale in der *Klus von Männedorf* (s. Abb. 8).

Gewaltige Vorgänge haben sich abgespielt seit jener Umwälzung, da das Molassegebiet zum Erosionsgebiet wurde. Riesige Massen von Molassegestein wurden durch die Flüsse und später durch die Gletscher abgetragen. So reichte die Front der Hohrone einst mehr als zwei Kilometer weiter nach Norden als heute. Ueber dem Albisgrat sind 500–600 m Molasse abgetragen worden, am Pfannenstiel ein noch grösserer Betrag. Und doch wissen wir über die Vorgänge von Ende der Molassesedimentation bis zum Eintritt der Eiszeit nur sehr wenig, denn es fehlen unsere Zeugen, die Gesteine! Vor rund 600 000 Jahren sind dann die Gletscher zum ersten Mal aus den Alpen ins Mittelland vorgestossen und vor zirka 12 000 Jahren hat sich der Linthgletscher aus dem Gebiet von Meilen zurückgezogen, und damit hat für den Geologen bereits die Gegenwart begonnen.