

Geologie der Zürcher Molasse zwischen Albiskamm und Pfannenstiel

Von der

Eidgenössischen Technischen
Hochschule in Zürich

zur Erlangung

der Würde eines Doktors der Naturwissenschaften

genehmigte

PROMOTIONSARBEIT

vorgelegt von

NAZARIO PAVONI

Dipl. Natw. E.T.H.

von ZÜRICH

Referent: Herr Prof. Dr. R. Staub

Korreferent: Herr Prof. Dr. R. Trümpy

Zürich 1957

Buchdruckerei Gebr. Fretz AG, Zürich

Meinen lieben Eltern gewidmet

Vorwort

Die Molasse an der Falätsche und am Entlisberg ist mir seit meinen Bubenjahren vertraut. Sie war es, die meine Freude und mein Interesse für die Geologie geweckt und in der Folge ständig vertieft und erweitert hat. Dadurch, dass mir Herr Prof. Dr. R. STAUB zunächst als Diplomarbeit das Gebiet zwischen oberem Zürichsee und östlichem Pfannenstiel und später die Molasse zwischen Albiskamm und Pfannenstiel bzw. Glattal zur Bearbeitung zuteilte, entsprach er einem lange gehegten Wunsch, einst die Zürcher Molasse geologisch untersuchen zu dürfen. Die geologischen Aufnahmen erfolgten zum grossen Teil in den Jahren 1952 bis 1956. Im Frühjahr 1956 wurden die Feldbegehungen, im Juni 1956 das Manuskript für die vorliegende Arbeit abgeschlossen.

An erster Stelle gebührt mein aufrichtiger Dank meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. R. STAUB, für sein Entgegenkommen und sein Interesse, welches er meiner Arbeit entgegengebracht hat, und ebenso für die einmalige Weise, in welcher er mich ganz besonders während meiner Assistentenzeit und im Laufe zahlreicher, unvergesslicher Instituts-Exkursionen in die Geologie und ihre Probleme eingeführt hat.

Besonderen Dank schulde ich den Herren Prof. Dr. A. JEANNET und Prof. Dr. R. TRÜMPY für ihre stets zuvorkommende Weise, mit der sie mir beim Bestimmen von Fossilien und bei der Vermittlung von spezieller Literatur behilflich waren. Von Herrn Prof. Dr. H. SUTER erhielt ich in manchen Gesprächen und auf gemeinsamen Begehungen in der Umgebung von Zürich viele Anregungen. Manchen wertvollen Ratschlag und Hinweis verdanke ich Herrn Prof. Dr. W. LEUPOLD. Beiden Herren möchte ich für ihr stetes freundliches Interesse herzlich danken. Gerne gedenke ich an dieser Stelle meines Geographielehrers an der Kantonsschule Zürich, Herrn Prof. Dr. H. REBSAMEN, der meine Freude an der Geologie schon früh erkannt und stets warm gefördert hat.

Zu herzlichem Dank bin ich den Herren Prof. Dr. P. NIGGLI, Prof. Dr. C. BURRI, Prof. Dr. R. PARKER für manche Auskünfte, und ganz besonders Herrn Prof. Dr. F. DE QUERVAIN für die Einführung in die sediment-petrographischen Untersuchungsmethoden verpflichtet. Mit Freude und Dankbarkeit denke ich an meine Assistentenzeit als Geologe am Institut für Geophysik der E.T.H., wo ich insbesondere mit gravimetrischen Untersuchungen im schweizerischen Mittelland und den damit verbundenen Problemen zu tun hatte. Herrn Prof. Dr. F. GASSMANN möchte ich auch für die Überlassung der Resultate von Dichtebestimmungen an Molassegesteinen aus meinem Untersuchungsgebiet bestens danken.

Ganz besonderen Dank schulde ich Herrn Prof. Dr. B. PEYER und Herrn Prof. Dr. E. KUHN vom Paläontologischen Institut der Universität Zürich. Stets durfte

ich ihren freundlichen Rat in Anspruch nehmen, und in manchen Gesprächen haben sie mir Einblick in ihre wundervolle Wissenschaft gegeben.

Es ist mir sodann eine schöne Pflicht, an dieser Stelle dem Schweizerischen Schulrat für die Erteilung von Stipendien während meiner Studienzeit aufrichtig zu danken.

Gerne erinnere ich mich der zahlreichen Gespräche mit meinen Studienkameraden — keineswegs immer nur geologischer Natur —, insbesondere mit TH. LOCHER, C. SCHINDLER und P. GRETENER. Herr J. NEHER stand mir mit seinen reichen Kenntnissen bei der Mikroskopie des vulkanischen Tuffs mit Rat und Tat beiseite. Herr Dr. F. HOFMANN, Schaffhausen, hat den Bentonit vom Küssnachter Tobel in freundlicher Weise tonmineralogisch untersucht. Herr M. GRÜNENFELDER und Herr T. SCHNEIDER vom Mineralogisch-petrographischen Institut der E.T.H. haben an verschiedenen Mineralien des Bentonites röntgenographische Untersuchungen vorgenommen. Beim Bestimmen von fossilen Pflanzen konnte ich stets auf die freundliche Hilfe von Herrn Dr. R. HANTKE zählen; er hat mir auch manche fossile Pflanze bestimmt. Wertvolle Hinweise, sei es in Bezug auf neue Aufschlüsse in der Umgebung von Zürich, sei es in Bezug auf sediment-petrographische Fragen, erhielt ich durch die Herren P.-D. Dr. H. JÄCKLI, P.-D. Dr. A. VON MOOS und Dr. H. KNECHT, Zürich. Herr Dr. H. BRÄM, Embrach, war mir bei der Bergung der fossilen Schildkröte im Klausertobel bei Feldbach behilflich. Er hat sie auch, neben weiteren Schildkrötenresten, so weit als möglich bestimmt. Herr Dr. H. BANK, Idar-Oberstein, hat mir im Verlauf eines ausserordentlich schönen Aufenthaltes das Tertiär des Mainzer Beckens und seine weitere Umgebung gezeigt. Nicht zuletzt sei der stillen Hilfe und der steten freundlichen Bereitschaft unseres Präparators am Geologischen Institut der E.T.H., Herrn V. MESSERLI, gedacht. Die Herren Präparatoren J. AICHINGER und F. BUCHSER vom Paläontologischen Institut der Universität Zürich sind mir stets in zuvorkommender Weise beim Präparieren und Konservieren von Fossilien beigestanden. Ihnen allen sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Fräulein M. BÜRKLI und Herrn Prof. Dr. K. ESCHER danke ich für die Erlaubnis, das Falätscheprofil von H. C. ESCHER VON DER LINTH in dieser Arbeit veröffentlichen zu dürfen.

Dem verständnisvollen Entgegenkommen von Kantonsingenieur K. GEORGI und der freundlichen Vermittlung durch Herrn E. HUBER vom Tiefbauamt des Kantons Zürich ist es zu verdanken, dass die Hüllisteiner Nagelfluh und der Meilener Kalk im Sihltal bei Station Sihlbrugg, entgegen dem ursprünglichen Plan, nicht vollständig zugemauert wurden. Den beiden Herren sei für ihr geologisches Verständnis auch an dieser Stelle bestens gedankt.

Mein tiefster Dank aber gilt meinen lieben Eltern. Sie haben mir unter grossen Opfern mein Studium überhaupt ermöglicht. Ihnen sei diese Arbeit gewidmet.

Istanbul, den 2. Oktober 1956.

Nazario Pavoni

Ergänzung zum Vorwort

Inzwischen konnte die Drucklegung meiner Dissertation sozusagen vollständig abgeschlossen werden, und es ist mir ein Bedürfnis auch an dieser Stelle allen, welche dabei mitgeholfen haben, herzlich zu danken.

Von der Eidgenössischen Technischen Hochschule wurde mir aus dem Zenternarfonds ein grosszügiger Beitrag an die hohen Druckkosten bewilligt. Für diese wohlwollende und willkommene finanzielle Hilfe möchte ich auch an dieser Stelle meinen aufrichtigen Dank aussprechen.

Es ist mir eine grosse Freude, meine Arbeit in der Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich veröffentlichen zu können. Ich schulde dem verdienten Redaktor der Vierteljahrsschrift, Herrn Prof. Dr. H. STEINER, ganz besonderen Dank für sein lebhaftes Interesse und für seine stets so freundlichen und tatkräftigen Bemühungen zum besten Gelingen des Druckes, ebenso der Sekretärin, Fräulein Dr. STOLL, für ihre unermüdliche Mithilfe im Verkehr mit der Druckerei und beim Durchlesen der Korrekturabzüge.

Ganz besonderen Dank schulde ich meiner Mutter, sowohl für die Reinschrift des Manuskriptes als auch für die Erledigung sämtlicher Korrespondenz und die unersetzliche Mithilfe beim Durchlesen der Druckkorrekturen.

Herzlicher Dank gebührt auch der Druckerei und den Setzern, welche in zuvorkommender Weise und mit grossem beruflichem Können den oft recht speziellen Wünschen entsprochen.

N. P.

Uzunköprü (Trakya), den 11. September 1957.

Geologie der Zürcher Molasse zwischen Albiskamm und Pfannenstiel

Von

NAZARIO PAVONI (Zürich)

(Mit 12 Abbildungen im Text und 5 Tafeln)

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung	119
II. Das Untersuchungsgebiet	119
A. Geographischer Überblick	122
B. Historisch-geologischer Überblick und Problemstellung	122
C. Regionalgeologischer Überblick	131
III. Stratigraphie und Lithologie der Zürcher Molasse	132
A. Die verschiedenen Gesteinsarten	133
1. Die Mergel	135
2. Die Sandsteine	140
3. Die Konglomerate (Nagelfluhen)	153
4. Die Kalke	163
5. Die Kohlen	167
B. Vulkanismus und Verkieselungserscheinungen	171
C. Fossilfunde	175
1. Fauna	175
2. Flora	178
3. Das Alter der Zürcher Molasse	180
D. Zusammenfassende fazielle Betrachtungen	183
E. Stratigraphisch-geologische Beschreibung des Untersuchungsgebietes	191
1. Das Üetliberggebiet	191
2. Das Albisgebiet	196
3. Das Sihltal	203
4. Die linke Seite des Zürichseetales	214
5. Die rechte Seite des Zürichseetales	218
6. Die Schwelle zwischen Glattal und oberem Zürichsee	232
7. Das Gehänge gegen Greifensee und Glattal	236
8. Die Molasse am Pfannenstiel-Zürichberg	238
9. Die Molasse Asp-Käshalden-Seebach	247
10. Die Molasse am Käferberg-Hintertobel S Affoltern b. Zeh.	248
11. Zentrales Stadtgebiet	248
12. Der Buchhoger	249
13. Dietiker Hohnert	250
14. Die Greppe	251
F. Die Leithorizonte	251
1. Das Niveau des «Appenzeller Granites»	252

2. Das limnische Leitniveau der Zürcher Molasse	253
3. Weitere wichtige Kalkhorizonte	254
4. Glimmersandstein- und Glimmermergel-Horizonte	255
5. Die Ophiolith-Nagelfluh- und Ophiolith-Sandstein-Horizonte	256
6. Der vulkanische Tuffhorizont im Küsnachter Tobel	256
G. Die stratigraphische Korrelation der verschiedenen Teilgebiete	257
H. Die stratigraphische Gliederung der Zürcher Molasse	259
J. Die Mächtigkeitsverhältnisse in der Zürcher Molasse	265
K. Stratigraphischer Vergleich der Zürcher Molasse mit der OSM der Ostschweiz	266
IV. Die Tektonik der Zürcher Molasse	269
A. Tektonische Detailformen	270
1. Die Klüftung	270
2. Lokale Verbiegungen tektonischer Natur	272
3. Lokale Versetzungen	273
4. Rutschharnische	273
B. Antiklinalen und Synklinalen	273
1. Die Üetliberg-Synklinale	274
2. Die Käpfnach-Grüninger-Antiklinale	275
3. Die Wädenswiler Synklinale	277
C. Flexuren und Brüche	277
1. Die Urdorfer Störung	277
2. Die Albisverwerfung	278
3. Die Langenberg-Flexur	278
4. Die Zimmerbergstörung	278
5. Die östliche Zürichseeverwerfung	279
6. Die Erlenbacher Flexur	279
7. Die zentrale Zürichseestörung	280
8. Die Zürichbergstörung	281
9. Die Störung Aesch-Hintereggen-Vollikon :	282
D. Zusammenfassung	284
E. Die tektonische Stellung der Zürcher Molasse in ihrer weiteren Umgebung .	284
V. Das geologische Geschehen in der Zürcher Molasse in seiner Beziehung zur alpinen Orogenese	289
A. Das geologische Geschehen im Molassetrog vor Beginn der Sedimentation der Zürcher Molasse	289
B. Das geologische Geschehen während der Ablagerung der Zürcher Molasse . .	291
1. Die Sedimentation der Zürcher Molasse und der OSM im allgemeinen . .	291
2. Die Immersionsphasen in der Zürcher Molasse	294
C. Das geologische Geschehen nach der Sedimentation der Zürcher Molasse . .	298
1. Die Faltungsphase	298
2. Die Beziehungen zwischen den synsedimentären Vorgängen im Molassetrog und dem Bau des Faltenjura	299
3. Die Zerbrechungsphase und die spätere Talbildung	301
VI. Zusammenfassung	302
Summary	305
Literaturverzeichnis	308

I. Einleitung

Wir stehen auf dem Gipfel des Üetliberges und blicken nach Südosten in den hellen Morgen. Der Aufstieg, die frische Luft, der Glanz des neuen Tages haben unsere Sinne geöffnet, den Bann des Alltäglichen gelöst und unser Empfinden freigemacht für neue Eindrücke. Vor uns liegt der waldbedeckte Rücken des Albis. In zackigen Kulissen sendet er seine Gräte ins verträumte Reppischtal zu unserer Rechten, über welchem noch ein Hauch von leichtem Morgennebel schwebt. Zur Linken markieren die zahlreichen Eggen den steilen Abfall zum tief eingeschnittenen, engen Sihltal. Von der Waldkerbe des Tales in der Ferne, wo der Albis sich absenkt, schweift unser Blick hinüber über den breiten Rücken des Zimmerberges ins weite Tal des Zürichsees. Wie ausgegossenes Silber füllt der See die flache Schale. Welch ein Gegensatz zwischen dem düsteren Waldtal und dem glanz erfüllten Seetal, zwischen der vom Wasser scharf gezeichneten Waldkette und den weichen Formen des breiten Gletschertales! In sanften Linien steigt das Gehänge jenseits des Sees zur waldigen Kuppe des Pfannenstiels empor. In duftiger Ferne beschliessen die schimmernden Alpen das vertraute Bild. Kaum ahnt der Betrachter den innigen Zusammenhang, der besteht zwischen dem Untergrund, auf welchem er steht, und jenen fernen Bergzügen.

Und doch ist auch die herrliche Landschaft, die vor uns liegt, eine gewordene und sich ständig verändernde. Dieses Werden unserer Landschaft weit und immer weiter zurück zu verfolgen, haben wir uns zur Aufgabe gemacht. Es ist wahrhaftig eine wundervolle Aufgabe, in dieses Geschehen vorzudringen. Es ist aber auch eine mühsame Aufgabe, denn nicht so leicht ist das Geheimnis des Werdens zu lüften, aber sie lockt uns mit unwiderstehlicher Macht. Nehmen wir nochmals in vollen Zügen den Glanz des vor uns liegenden Bildes und des strahlenden Tages in uns auf. Dann gehen wir wieder hinunter an die waldigen Flanken des Berges, denn hier wollen wir mit der Arbeit beginnen.

II. Das Untersuchungsgebiet

Der ganze tiefere Untergrund des Zürichseegebietes wird durch eine mächtige Gesteinsfolge von Sandstein-, Mergel- und Nagelfluhschichten gebildet, wie sie z. B. prachtvoll an der Falätsche oberhalb Leimbach zu erkennen sind. Diese Gesteinsfolgen, welche das ganze schweizerische Mittelland aufbauen und sich im nördlichen Vorland der Alpen bis gegen Wien, anderseits bis weit nach Savoyen hinziehen, bezeichnet man als Molasse.

Die Molasseablagerungen sind durchweg tertiären Alters. Sie sind zum überwiegenden Teil nichts anderes als der Abtragungsschutt des tertiären Alpengebirges. Die Sedimentation der Molasse begann mit der Heraushebung des

alpinen Gebirges, d. h. schon im älteren Tertiär. Sie dauerte — unter stetem langsamem Absinken des Vorlandes — fort bis an die Schwelle zum Pliozän, umfasste somit einen Zeitraum von 20 bis 30 Millionen Jahren. Während dieses gewaltigen Zeitraumes lagerten sich Molasseschichten von bis zu mehreren tausend Metern Mächtigkeit ab. Man hat die Molasseablagerungen nach ihrem Alter seit langem in verschiedene Stufen weitergegliedert (vgl. auch S. 182).

Obere Süswassermolasse = OSM	}	Pontien	}	Vindobonien
		Sarmatien		
	Tortonien			
Obere Meeresmolasse = OMM	Helvetien			
	}	Burdigalien	}	Stampien
Untere Süswassermolasse = USM		Aquitanien		
	Chattien			
Untere Meeresmolasse = UMM	Rupelien			

Die Zürcher Molasse gehört zur obersten, jüngsten Abteilung der mittelländischen Molasse, zur Oberen Süswassermolasse (OSM). Sie umfasst in engerem Sinne die OSM von Zürich und Umgebung sowie des Zürichseegebietes, in weiterem Sinne die OSM des Kantons Zürich.

Im Pliozän erfolgte gleichzeitig mit letzten grossen Zusammenschüben in den Alpen eine starke tektonische Beanspruchung des Molasselandes, besonders derjenigen Teile, die nahe dem Alpenrand lagen. Der Jura wurde gefaltet und das gesamte Molasseland gehoben. In der Folge begannen sich die Flüsse in die Molasseschichten einzuschneiden. Erst viel später, als das heutige Talnetz in seinen Grundzügen bereits angelegt war, stiessen in der Eiszeit die Gletscher zu verschiedenen Malen aus den Alpen über das ursprüngliche Molasseland vor. Die eiszeitlichen Ablagerungen liegen als geringe oder mächtigere Decke auf den Molasseschichten und entziehen sie so vielerorts unserer direkten Beobachtung. Die Molassegesteine verwittern sehr rasch, so dass sie auch dort, wo sie direkt den Untergrund bilden, durch ihren eigenen Verwitterungsschutt verhüllt sind. Zudem verhindern die geschlossene Vegetationsdecke, Häuser, Strassen, künstliche Aufschüttungen den Einblick in den geologischen Aufbau des Untergrundes. Aus allen diesen Gründen sind Aufschlüsse, wo die Geologie der Molasse untersucht werden kann, selten. Sie beschränken sich auf die grösseren Tobel, auf Anrisse an steilen Hängen und auf künstliche Aufschlüsse beim Bau von Strassen und Gebäuden. Der ausgesprochene Mangel an guten Molasseaufschlüssen sowie die stets sich wiederholende gleichartige, monoton erscheinende Ausbildung der Molasse und die damit verbundene offensichtliche Unmöglichkeit, bestimmte Schichten mit Sicherheit auf grössere Distanzen ver-



Abb.1 Am Albis-E-Hang, Blick vom Buchsatz an der südlichen Falätsche gegen S. Am Albis die bewaldeten, markanten Gräte der Burgweid und der Felsenegg. Am Fuss der Kette die sanft ansteigenden, obstbaumbestandenen Wiesen auf Gehängeschutt und Bergsturzmassen. Im Sihltal, im Mittelgrund, die Scholle des Langenberges, der zusammen mit dem Zimmerberg (linker Bildrand) tektonisch um 100 m gegenüber dem Albis abgesenkt ist. Im Hintergrund Schnabel, Bürglen und Albishorn.

folgen zu können, sind die Gründe, warum bis heute über die eigentliche Zürcher Molasse relativ so wenig bekannt wurde. Die quartären Ablagerungen der Umgebung von Zürich sind wesentlich besser erforscht. Aber auch für die Quartärgeologie ist letzten Endes eine genaue Kenntnis des Molasseuntergrundes unerlässlich, müssen doch zahlreiche Folgerungen, die wir allein aus der Anordnung der quartären Ablagerungen ableiten, mit einem grossen Unsicherheitsfaktor behaftet sein, solange dabei die Geologie des Molasseuntergrundes unbekannt und unberücksichtigt bleibt. Dies gilt in ganz besonderem Masse für die verschiedenen Theorien über die Entstehungsgeschichte der Zürichseelandschaft.

Dass die Zürcher Molasse keineswegs ein uninteressantes Studienobjekt ist — wie es auf den ersten Blick erscheinen möchte —, sondern eine ganze Reihe von spannenden Problemen in sich birgt, welche sich allerdings erst durch eine detaillierte Untersuchung ergeben und lösen lassen, das möchte ich im folgenden aufzeigen.

A. Geographischer Überblick

Vom Uto aus haben wir bereits einen Überblick über das Untersuchungsgebiet gewonnen. Es liegt vollständig in der flachgelagerten mittelländischen Molasse und umfasst zur Hauptsache die Gebiete beidseits des Zürichsees zwischen Reppischtal im W und dem Glattal im E, somit die Albis-Üetlibergkette, die Zimmerbergkette und die Pfannenstiel-Zürichbergkette. Im N wurde der Dietiker Hohnert, Buchhoger und Käferberg noch in die Untersuchungen miteinbezogen. Die N-Grenze des untersuchten Gebietes verläuft von Dietikon über Schlieren, Höngg, Affoltern b. Zch., Schwamendingen, Dübendorf bis zur Glatt. Im S verläuft die Grenze von Hausen a. A., Sihlbrugg, Sihl, Sihlsprung, Wädenswil über den Zürichsee nach Feldbach, Rüti, Hinwil, Gossau. Das Gebiet ist enthalten auf den folgenden Blättern des Topographischen Atlases der Schweiz 1:25 000 (Siegfriedatlas): 158 Schlieren, 159 Schwamendingen, 160 Birmensdorf, 161 Zürich, 174 Affoltern a. A., 175 Thalwil, 176 Mettmenstetten, 177 Horgen, 191 Zug, 212 Uster, 226 Mönchaltorf, 227 Hinwil, 228 Wädenswil, 229 Rapperswil.

B. Historisch-geologischer Überblick und Problemstellung

Schon auf der ältesten zuverlässigen Darstellung der Stadt Zürich, auf «der Stadt Zürich-Konterfei», gemalt von HANS LEU DEM ÄLTERN um das Jahr 1490, ist auch ein Molasseaufschluss, die Falätsche, recht naturgetreu dargestellt. Das ist im Grunde genommen kein Zufall. Es kommt darin in schönster Weise die enge Beziehung der Zürcher Landschaft zur Geologie der Zürcher Molasse zum Ausdruck.

Wenn auch sehr lange Zeit, eigentlich bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts, z. T. sehr eigentümliche Ansichten über die Entstehung der Erdschichten und der darin enthaltenen «Figurensteine» herrschten, so wäre es doch falsch, anzunehmen, dass früher der Beschaffenheit des Untergrundes überhaupt keine Beachtung geschenkt wurde. Im Gegenteil war man früher, z. B. bei Bauten, darauf angewiesen, mangels geeigneter Transportmittel, möglichst Gesteine aus der näheren Umgebung zu verwenden, was eine eingehende Kenntnis des lokalen Untergrundes voraussetzte, eine Kenntnis, die vielfach deutlich verbreiteter war als sie es heute im Durchschnitt ist. Es bestand offenbar früher kein Bedürfnis, diese lokalen Kenntnisse zu koordinieren, zu verbreitern, zu vertiefen und in grösseren Zusammenhängen zu sehen, oder es wurden rein spekulative Betrachtungen angestellt. Ebenso war die damals von der Kirche vertretene Ansicht von einer abgeschlossenen Schöpfung ein starkes Hemmnis für die Erkenntnis geologischer Vorgänge.

Schon früh sind den Bewohnern des Mittellandes fremdartige Gesteinsblöcke, die überall zerstreut in der Zürcher Landschaft vorkommen, aufgefallen. Man hat sie von altersher als Findlinge oder auch als «Geissberger» bezeichnet und damit bereits ihre Herkunft aus den Geissbergen, den Alpen, angedeutet. Sie

waren als Bausteine ausserordentlich geschätzt und ihre Zahl ist daher im Laufe der Zeit stark dezimiert worden. Dafür findet man sie in bunter Gesellschaft beisammen in alten Stützmauern, alten Häusern und Stadtmauern. Aber auch die Molassegesteine wurden ausgebeutet. Zahlreiche Sandsteinbrüche waren bis vor etwa hundert Jahren in der Umgebung von Zürich zu finden. So sind auf der geologischen Karte von A. WETTSTEIN, erschienen 1885, noch eine grosse Zahl von Sandsteinbrüchen eingetragen, von denen man heute überhaupt nichts mehr sieht. Die Sandsteine, manchmal auch der Molassefels als solcher, werden bei uns als «Läberfels» bezeichnet.

Auch Kalke wurden, besonders im Zürcher Oberland, an vielen Lokalitäten als sogenannter «Wetterkalk» ausgebeutet und meist an Ort und Stelle gebrannt. Viele lokale Bezeichnungen, wie Kalkofen, Chalhegg, deuten auf eine frühere Ausbeutung hin. Den früheren Geologen ermöglichten diese Steinbrüche manch willkommenen Einblick in den Schichtaufbau der betreffenden Gegend, ja sie wurden dadurch auf die Kalkschichten, welche als Leithorizonte von Bedeutung sind, geradezu aufmerksam gemacht. ARNOLD ESCHER VON DER LINTH erwähnt 1844 noch eine grosse Zahl von Kalksteinbrüchen und schätzt die Qualität des an den verschiedenen Lokalitäten gewonnenen Materials gegeneinander ab. Heute, im Zeitalter der Eisenbahn und des Betons, sind diese Steinbrüche alle längst zerfallen und nichts mehr ist von ihnen zu erkennen. Wie oft wünschte man sich, wenn man an einer solchen von ESCHER erwähnten Stelle steht, um hundert Jahre zurückversetzt. Neben den Molassesandsteinen und Molassekalken wurden früher auch die bituminösen Mergel ausgebeutet und zum Düngen der Wiesen und Reben verwendet. Molassetone fehlen in unserm Gebiet.

Ganz besondere Beachtung erfuhren die Kohlevorkommen. Das bedeutendste Molassekohlenbergwerk der Schweiz liegt am linken Ufer des Zürichsees bei Käpfnach. Schon in der STUMPFschen Chronik aus dem Jahre 1548 ist diesbezüglich folgende Notiz enthalten: «Diser Steinkolen habend sich unserer tagen auch etliche erzeugt bey dem Zürichsee umb die Herrschafft Wädischwyl und Horgen etc. aber nicht so reychlich, desshalb man deren wenig acht hat.» Zuerst war das Flöz nur im Aabachtobel bekannt. 1709 wurde das Flöz durch die 1708 gegründete Steinkohlenkommission (E. LETSCH, 1899), der auch JOHANN JAKOB SCHEUCHZER angehörte, welcher wahrscheinlich auch die meisten Untersuchungen durchführte, vom Aabachtobel bis zum Meilibach weiterverfolgt, und es wurde festgestellt, «dass nur eine Lage Steinkohle bogenweise durch den Berg gehe». Das Kohlenbergwerk von Käpfnach wurde mit Unterbrechungen bis 1946 betrieben (vgl. S. 168).

Im 18. und 19. Jahrhundert wurde an etlichen Stellen nach «Steinkohlen» gesucht und auch solche gefunden. Man muss dabei berücksichtigen, dass damals die Zürcher Bäche noch nicht verbaut waren und die Aufschlussverhältnisse dementsprechend bessere waren. Heute mutet es einen fast als Wunder an, wenn man auf einen Bach stösst, der noch nicht verbaut ist. Das einzige Kohlenlager in unserem Gebiet, welches nicht in das Niveau von Käpfnach ge-

hört und einige Bedeutung, besonders während des zweiten Weltkrieges erlangte, ist dasjenige von Riedhof im Reppischtal. In dasselbe Niveau gehört auch das Kohlenbergwerk Rossweg bei Adliswil (vgl. Abschnitt S. 168). Im übrigen sei, was die Entdeckung und Ausbeutung der Zürcher Molassekohlen betrifft, auf die umfassenden Darstellungen von E. LETSCH (1899) in seiner trefflichen Arbeit über die «Molassekohlen östlich der Reuss» und auf die neuen, zum grössten Teil unveröffentlichten Untersuchungen des «Bureaus für Bergbau» und von A. von Moos (1944, 1945, 1946, 1947) hingewiesen.

1775 erschien in Bern von GOTTLIEB SIGISMUND GRUNER die «Naturgeschichte Helvetiens in der alten Welt»; gemeint ist damit die Vorgeschichte der Erde. Er spricht von einer gesalzenen See, welche den Trog Helvetiens zwischen Alpen und Jura noch vor der Sintflut erfüllte. Er beweist dies an Hand von Fossilfunden aus der Molasse des Bernbietes. Sogar von Pholaden angebohrte Gesteine hat er genau beschrieben. Doch sind seine Vorstellungen und Überlegungen so phantasievoll und wirklichkeitsfremd, dass GRUNER's Werk trotz einigen guten Beobachtungen für die geologische Erkenntnis unseres Landes kaum einen Fortschritt bedeutet und sich in seiner Art anschliesst an eine ganze Reihe zu Beginn des 18. Jahrhunderts erschienener Theorien (WOODWARD, BURNET, MORO).

Der erste, der den beschränkten, rein lokalen Rahmen der Kenntnisse sprengte und seine Beobachtungen in grössere Zusammenhänge stellte, war HANS CONRAD ESCHER VON DER LINTH. Sein grosses Interesse für die Gesteine, seine zahlreichen ausgedehnten Reisen, seine scharfe Art der Beobachtung, seine Gründlichkeit und Ausdauer verhalfen ihm zu einem Erfahrungsschatz an geognostischen Kenntnissen, wie sie damals in Zürich und überhaupt in Helvetien kaum ein zweiter besass. Grossartige Worte und Begriffe, hinter denen nichts steckte, waren ihm zuwider. Er hatte zudem eine ausgesprochene Abneigung, voreilige Schlüsse zu ziehen, Theorien aufzustellen und ihnen nachzuhängen. H. C. ESCHER's Leitmotiv war, wie sein Sohn ARNOLD ESCHER VON DER LINTH schreibt (HOTTINGER, 1852): «Zweifel ist besser als Irrtum.» Diese Abneigung und die starke Inanspruchnahme durch andere Aufgaben mögen schuld daran sein, dass H. C. ESCHER, im Vergleich zu seinen Kenntnissen, über seine Ansichten recht wenig veröffentlicht hat. Dem Theoretisieren war er ganz abgeneigt. Sein Prüfstein war die genaue Naturbeobachtung, und dies ist der Grund, warum die meisten seiner Beobachtungen und Aussagen bis heute gültig sind.

Auf die grosse Bedeutung H. C. ESCHER's für die Schweizer Geologie kann hier nicht eingegangen werden. Es sei diesbezüglich besonders auf die «Geologie der Glarner Alpen» von R. STAUB (1954) hingewiesen. Im folgenden seien lediglich die Erkenntnisse ESCHER's, soweit sie unser Gebiet, die Zürcher Molasse betreffen, zusammengefasst. Wir dürfen H. C. ESCHER VON DER LINTH mit Recht als den eigentlichen Begründer der Zürcher Geologie bezeichnen. Schon 1795 beschreibt er in seiner «Profilreise von Zürich bis an den Gotthard» im Gebiet von Zürich die Mergel- und Sandsteinformation (Alpina II, 1807, S. 1). Er

unterscheidet zwei Arten von Sandsteinen, genau entsprechend unsern Mergel- und Knauersandsteinen. Er erkennt bereits, dass die Nagelfluh auf dem Uto zu einer neuern, auf die Sandstein- und Mergelformation aufgesetzten Gebirgsformation gehört, die er in Zusammenhang bringt mit den ähnlichen Nagelfluhen im südöstlichen Teil des Albis und im Lorzetobel. Besonders hervorzuheben ist, dass ESCHER auch schon auf die Stinkkalkschicht aufmerksam geworden ist. Er schreibt in seiner «Profilreise» (Alpina II, 1807, S. 6/7): «Noch zeichnet sich in dieser Formation (gemeint ist die Mergel-Sandsteinformation) eine einzelne Zwischenschicht von bituminöser Mergelerde mit häufigen Turbinenschalen besonders aus: Sie ist bis auf 6 Zoll stark, von schwärzlich brauner Farbe, und von einem Stinksteinlager bedeckt, dessen unterer Teil dickschiefrig ist, und die nämlichen Schnecken und Muschelschalen enthält, wie sich häufig auf der Steinkohle zeigen. Diese merkwürdige Zwischenschicht zeigt sich sowohl am Uto, südwestlich von Zürich, als auch am Zürichberg ob Hirslanden.» Leider ist die Bezeichnung «am Uto» zu weit gefasst, so dass daraus nicht ersichtlich ist, welche Stelle ESCHER damit gemeint hat. «Am Zürichberg ob Hirslanden» bedeutet sicher die Fundstelle im Wehrenbachtobel. Auch ESCHER hat den grossen Mangel an Aufschlüssen empfunden, wenn er in der Alpina II, 1807, S. 9, von der Mergel- und Sandsteinformation schreibt: «Aber nirgends sieht man deutliche Profile von derselben weil die Vegetation diese Gegend bedeckt.» Dafür schätzt er die Falätsche um so mehr: «Nur von Ferne sieht man von Wollishofen aus, an dem westlich liegenden Uto die sogenannte Leimbacher Falätsche, welches ein immer noch fortdauernder, durch Auswaschung verursachter Einsturz der einen Seite des Berges ist, wo die ganze Formation mit solcher Deutlichkeit im schönsten Profile erscheint, dass diese Falätsche des Besuches eines jeden nach Zürich gehenden Geognosten würdig wäre.» Dieser vor 160 Jahren geäusserten Meinung möchte ich mich vorbehaltlos anschliessen. Von ESCHER besitzen wir am Geologischen Institut eine Zeichnung von der Falätsche, worin die beiden grossen Sandsteinbänke, nicht aber die Nagelfluhbank angegeben sind. H. C. ESCHER VON DER LINTH hat im Laufe mehrerer Jahre ein detailliertes Profil der Falätsche aufgenommen, indem er jedesmal, wenn er die Falätsche besuchte, ein Stück weiter hinzufügte. Das Profil ist in den drei geologischen Tagebüchern H. C. ESCHER's, deponiert am Geologischen Institut der E.T.H., enthalten. Wir veröffentlichen hier nur den untersten Abschnitt des Profils, den H. C. ESCHER am 11. Juni 1794 aufgenommen hat. In diesem Abschnitt ist auch das limnische Leitniveau am Rüttschli-bach, Kote 518 m (neuer Wert), sehr genau wiedergegeben (Heft I, S. 63/64, § 167, Schicht 17—23):

«...Dann jene schwärzlich-braune Masse einer ziemlich festen bituminösen Mergelerde mit Versteinerungen, welche sich allmählich zu einem braunen Stinkstein zu verhärten scheint; diese bestimmt sich auszeichnende Schicht ist etwa 3 Zoll stark. Über diesem kommt nun eine bläulich-schwarze zerreibliche bituminöse Mergelschicht zum Vorschein, welche im ganzen genommen weniger Versteinerungen und Schalfragmente enthält als die beyden Schichten zwischen denen sie liegt. Sie geht bald in einen fast ganz versteinere-

rungslosen etwas härteren schwärzlichen Mergel, bald in einen gräulichen über, der hingegen wieder häufiger Versteinerungen enthält und einen glänzenden getrüben Bruch hat. Dann folgt wieder eine dunkel schwarzbraune Mergelschicht, die sehr bituminös ist und wieder viel Versteinerungen und Muschelfragmente enthält, doch nicht so häufig wie jene untere, sonst ähnliche Schicht; diese obere Schicht ist stärker und fast ein halben Schuh stark; sie zeichnet sich auch durch ihre mehrere Schwärze vor allen unter ihr liegenden bituminösen Schichten sehr aus. Alles diese schwarzbraunen bituminösen Mergel Schichten sind nun noch durch eine $\frac{1}{2}$ Schuh starke schöne hellbräunliche Stinkstein Schicht überdeckt, der horizontal mehr oder weniger braun gestreift ist und besonders unten sich sehr leicht nach diesen Streifen in dünere Tafeln trennt. Dieser Stinkstein ist von feinkornigem, an seinem obern Theil fast dichtem Bruch und als Stinkstein sehr hart, und ohne merkliche Versteinerungen . . . »

Von ganz anderer Art ist der Zeitgenosse H. C. ESCHER's, JOHANN GOTTFRIED EBEL, Doktor der Medizin. In Zürich erscheint 1808 ein zweibändiges Werk von ihm: «Über den Bau der Erde in dem Alpengebirge . . . » Ganz im Gegensatz zu H. C. ESCHER ist er sofort bereit, aus einzelnen Beobachtungen Verallgemeinerungen für das ganze Alpengebirge zu ziehen. Seine unkritische Art lässt ihn ohne weiteres über Unstimmigkeiten und Widersprüche in seinen Darstellungen hinweggehen, was die recht scharfe, sachliche, lange Rezension H. C. ESCHER's über dieses Werk (1809) in sehr deutlicher Weise zum Ausdruck bringt. Gerade diese Rezension vermittelt uns ein Bild von H. C. ESCHER's grossen geologischen Kenntnissen und von seiner wissenschaftlichen Denkweise. Trotzdem müssen wir die Leistung und die grosse Arbeit EBEL's anerkennen, den Versuch, die Alpen in ihrer Gesamtheit zu beschreiben, gewagt zu haben. Seine Ausführungen über das jüngere Sandstein- und Mergelgebilde enthalten gegenüber den Erkenntnissen H. C. ESCHER's nichts Neues. Zum Teil sind es wortwörtliche Wiederholungen H. C. ESCHER'scher Sätze. Die Porphyrygerölle in den Nagelfluhen leitet er bereits von den Porphyrlagern der Südalpen ab.

1825 erschienen BERNHARD STUDER's Beiträge zu einer «Monographie der Molasse», ein ausgezeichnetes Werk für die damalige Zeit. Obwohl STUDER vor allem die Berner Molasse beschreibt, ist das Werk darum von grosser Bedeutung, weil darin die Erkenntnisse über die Molassebildungen der damaligen Zeit, ergänzt durch die vielen trefflichen Beobachtungen des Autors, in sehr klarer Weise zusammengefasst sind. Über die Zürcher Molasse im speziellen ist darin nichts enthalten, was nicht schon H. C. ESCHER bekannt gewesen wäre.

ALBERT MOUSSON veröffentlicht 1840 seine «Geologische Skizze der Umgebungen von Baden», wie er selbst schreibt, die Frucht der müssigen Augenblicke, welche eine doppelte Badekur in den Jahren 1838 und 1839 ihm gewährte. Er beschreibt darin die Gegend von Baden, die Lägern, das Limmattal bis gegen Zürich hin. Man merkt aus seinen klaren Ausführungen, dass ihn die Geologie des zürcherischen Molasse-Untergrundes schon längere Zeit beschäftigt hat. Seine scharfen Beobachtungen und Überlegungen, insbesondere über die Natur der Deckenschotter und über die Faltungsphasen der Lägernkette

besitzen auch heute noch volle Gültigkeit. Die seinem Werk beigelegten Skizzen und Profile sind ebenfalls sehr detailliert und klar gezeichnet. Er beobachtet die Schichtverbiegungen der Molasse im Limmattal, er beschreibt die überkippte Molasse am Nordrand der Lägernüberschiebung und zeichnet Knauer als langgestreckte, parallel zur Sandsteinbank verlaufende Gebilde. Er weist auf die Analogie des Deckenschotter mit Diluvial- und Alluvialkonglomeraten hin. Er setzt sich eingehend und kritisch mit der Gletschertheorie auseinander, welche, ausgehend von den Untersuchungen von VENETZ, PLAYFAIR, PERRAUDIN und CHARPENTIER, eben im Begriffe ist, die alte Überflutungstheorie zu verdrängen. MOUSSON's (1840) Gliederung des Tertiärs und Quartärs ist folgende:

A. Schutt-Bildungen: Jünger als die Talauwaschungen

1. Neuere Alluvionen: der heutigen Zeit angehörend
Ablagerungen jetziger Gewässer, Kalktuff
2. Ältere Alluvionen: Jünger als die letzten Hebungen der Alpen
Schotter, 70—80' über dem jetzigen Wasserstand der Flüsse
3. Diluvialanhäufungen: Aus der Zeit der letzten alpinischen Hebungen
Alpinische Blöcke, Sand- und Lehmschutt

B. Tertiär-Bildungen: Älter als die Talauwaschungen

I. Die Molasseformation

1. Obere Molasse: Jünger als die Hebung der Kette von Baden
Kalkkonglomerat (= späterer Deckenschotter), gelbliche Molasse
Hebungsepoche der Kette von Baden
2. Untere Molasse: Älter als die Hebung der Kette von Baden
Bunte Nagelfluh, Muschelsandstein, Knauermolasse

II. Die Bohnerzbildungen: Rätselhafte Gebilde, Eisentone

In sauberer und sinngemässer Aufteilung sind die Ablagerungen im Limmattal in vollständig richtige Beziehung zur Lägernfaltung gebracht. Letzte alpinische Hebungen mussten von A. MOUSSON (1840) angenommen werden, um das Vorkommen alpiner Blöcke im Mittelland erklären zu können, welche nach damaliger Auffassung durch gewaltige Wasserfluten aus den Alpen verschwemmt worden waren. Das Kalkkonglomerat entspricht dem Deckenschotter. Was die «gelbe Molasse» bedeutet, ist nicht klar.

Vier Jahre nach der Arbeit von A. MOUSSON erscheint in den «Gemälden der Schweiz», herausgegeben von GEROLD MEYER VON KNONAU, eine geologische Beschreibung des Kantons Zürich, verfasst von ARNOLD ESCHER VON DER LINTH. In klarer, knapper Schau sind darin die Kenntnisse über die Geologie der Molasse des Kantons Zürich zusammengefasst. Wie A. MOUSSON zählt auch A. ESCHER in seiner Arbeit den «Deckenschotter» noch zu den Molassebildungen, obwohl er die Unterschiede zwischen dieser oberen oder «löcherigen» Nagelfluh, wie er sie bezeichnet, und der unteren Nagelfluh so eindeutig hervorhebt wie man es besser nicht tun könnte. Auch die Eindrücke in den Geröllen der unteren Nagelfluh beschreibt er sehr genau, kann aber keine richtige Erklärung dafür finden. A. ESCHER ist bereits überzeugter Anhänger der von

VENETZ und CHARPENTIER postulierten einstigen Vergletscherung des Mittelandes und führt sämtliche Gründe an, wie sie auch heute nicht besser aufgestellt werden könnten. Während seine Gliederung der Molassebildungen im Kanton Zürich in grossen Zügen dieselbe ist, wie sie auch heute durchgeführt wird, ist die Gliederung der an sich viel komplexeren Quartärablagerungen noch unklar.

OSWALD HEER, der berühmte Erforscher der Fauna und insbesondere der Flora der Molasse, vermochte sich auf Grund seiner detaillierten und umfassenden Untersuchungen schon früh ein treffliches Bild von der Lebewelt der Molasse zu machen. Die Früchte seiner Arbeit sind niedergelegt in seinem grossen Werk «Flora tertiaria Helvetiae», erschienen 1855—1859. Allen verständlich und in sehr lebendiger Schilderung hat er seine Gedanken und sein Bild von der geologischen Vorzeit unseres Landes in seiner «Urwelt der Schweiz», erschienen 1865 in Zürich, zusammengefasst. Für das Bild der Molassezeit war ihm vor allem die reiche Fundstätte von Oehningen, die er sogar in einem Gedicht besingt, wegleitend. Die Oehninger Molasse ist im grossen mit der Zürcher Molasse gleichaltrig. Wir dürfen daher sein Bild in den Hauptzügen auch für die Zürcher Molasse übernehmen.

Das Neujahrsblatt, welches auf das Jahr 1862 von der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich herausgegeben wurde, enthält auf 34 Seiten eine Übersicht der Geologie des Kantons Zürich, sowie ein erstes geologisches Kärtchen des Kantons. Die Verfasser werden nicht genannt, wahrscheinlich sind es aber A. MOUSSON, A. ESCHER und O. HEER. Die Arbeit befasst sich nur mit den Molassebildungen des Kantons; für die Quartärbildungen war ein späteres Neujahrsblatt vorgesehen, das jedoch nie mehr erschienen ist. Als Ganzes geben die Arbeit und das beigegefügte Kärtchen einen ausgezeichneten Überblick über die Molasse des Kantons Zürich. So ist die Meeresmolasse überall richtig ausgeschieden, die Deckenschotter werden nicht mehr zu den Molassebildungen gezählt. Die damals bekannten wichtigen Kalk- und Kohlenvorkommen sind sämtliche im Kärtchen ausgeschieden. Die Nagelfluh von «Hüllistein» bei Feldbach ist darin ausdrücklich erwähnt und als durchziehender Horizont von Herisau bis zum obern Zürichsee beschrieben. In der Arbeit sind so viele Details und genaue Beobachtungen enthalten, dass wir sie auch heute noch als die beste bezeichnen müssen, die über die Molasse des ganzen Kantons geschrieben wurde.

Die Arbeiten von A. MOUSSON (1840), von A. ESCHER (1844), von O. HEER (1855, 1865) und das Neujahrsblatt (1862) stellen gewissermassen Höhepunkte in der Kenntnis der Zürcher Molasse dar. In den folgenden Jahrzehnten wird es recht still um die Zürcher Molasse, manche Detailbeobachtungen geraten in Vergessenheit. Alpine Geologie und Quartärprobleme stehen von nun an viel stärker im Vordergrund. Die Beschreibung der Molasse auf Blatt IX der Dufourkarte von A. GUTZWILLER (1877) ist recht summarisch gehalten und bietet für unser Gebiet kaum etwas Neues. In seiner «Geologie von Zürich und Umgebung», erschienen 1885, widmet ALEXANDER WETTSTEIN kaum einen Zehntel seiner Arbeit der Molasse. Quartärprobleme und die Frage nach der

Entstehung des Zürichseetales interessieren ihn in viel stärkerem Masse. Wir verdanken A. WETTSTEIN eine vorzügliche geologische Karte von Zürich und Umgebung im Maßstab 1:40 000, die bis heute die einzige Detailkarte der Umgebung von Zürich geblieben ist und eine grosse Rarität darstellt. Die erste geologische Karte im Maßstab 1:10 000, erschienen 1871, welche allerdings nur das damalige Stadtgebiet von Zürich umfasst, besitzen wir von A. ESCHER. Die in den folgenden Jahren erscheinenden Arbeiten, die unser Gebiet betreffen, behandeln nur Quartärfragen. Besonders das Problem der rückläufigen Terrassen erhitzt die Gemüter, und zahlreiche Publikationen darüber sind die Folge. Dahin gehören die Arbeiten von ALBERT HEIM (1894) und seiner Schüler A. WETTSTEIN (1885), A. AEPPLI (1894) und E. GOGARTEN (1910) (s. N. PAVONI, 1953).

Von bleibendem Wert ist die Arbeit von E. LETSCH (1899): «Die Molassekohlen östlich der Reuss», worin eine fast unerschöpfliche Menge von geschichtlichen und geologischen Detailangaben über die Kohlenvorkommen unseres Gebietes enthalten sind. Im grossen Werk über die «Geologie der Schweiz» von ALBERT HEIM, erschienen 1919 bis 1922, ist über die Zürcher Molasse im Vergleich zu andern Molassegebieten der Schweiz nur sehr wenig enthalten; der Grund dafür liegt darin, dass diese viel besser bekannt und erforscht waren. In der Folge wurde die HEIMSche Auffassung einer alpinen Randabsenkung und die damit verbundene Entstehung des Zürichsees von den meisten Zürcher Geologen anerkannt. Gegner dieser Auffassung waren A. PENCK, der sich schon 1894 gegen die Auffassung von ALBERT HEIM über die Entstehung der alpinen Randseen ausgesprochen hatte, und E. BRÜCKNER (PENCK und BRÜCKNER, 1909). Auch R. FREI (1912), ein Schüler ALBERT HEIM's und wohl der beste Kenner der Deckenschotter der Ostschweiz, konnte sich nicht von der Identität der Deckenschotter am Albis mit den Sihl- und Lorzeschottern überzeugen.

Die geologischen Arbeiten von O. HERBORDT (1907), H. BODENBURG-HELLMUND (1909), A. WEBER (1934), H. SUTER (1939, 1944), J. HUG und A. BEILICK (1934) und R. STAUB (1938), welche das Gebiet von Zürich betreffen, befassen sich vorwiegend mit den Quartärablagerungen oder, wie R. STAUB, mit der Entstehung der alpinen Randseen. Auch im geologischen Exkursionsführer für Zürich und Umgebung (1946) wird die obere Süsswassermolasse jeweils nur summarisch beschrieben. Eine leichtverständliche Zusammenfassung über die geologischen Verhältnisse der weitem Umgebung von Zürich zusammen mit einer übersichtlichen geologischen Karte des Kantons Zürich im Maßstab 1:150 000 findet man in der «Geologie von Zürich», verfasst von H. SUTER (1939).

In jüngerer Zeit begann das Interesse an den Molassebildungen wieder grösser zu werden. Die intensive Erforschung der Alpen hatte reiche Früchte getragen und neue Probleme gestellt. Von besonderem Interesse war es, die verschiedenen alpinen Faltungs- und Hebungsphasen und die eng damit verbundenen Erosionsphasen, welche während einer langen und vielfältigen Geschichte schliesslich zur heutigen Gestaltung des Alpengebirges geführt haben, zu erkennen. Den Schlüssel zur Lösung dieser Frage finden wir nicht allein

im Alpengebirge selbst, sondern vor allem in denjenigen Gebieten, wo der alpine Abtragungsschutt im Laufe der Jahrtausende zur Ablagerung gelangte: In den Flyschgebieten und in den Molassegebieten. Diesen wichtigen Zusammenhang hat bereits LEOPOLD v. BUCH vor 150 Jahren erkannt, wenn er sagt: «Von einer vollständigen Monographie der Molasse kann die ganze Theorie des Alpengebirges abhängen.» (Zitiert nach B. STUDER, 1825, Vorrede, S. 27.) Auch J. FRÜH (1888) weist in seiner vorzüglichen Arbeit über die Nagelfluh der Schweiz sehr eingehend auf diese Zusammenhänge hin, ebenso ALBERT HEIM (1919) in der Geologie der Schweiz und J. CADISCH (1928). Einen ganz entscheidenden Vorstoss brachte 1934 das in umfassender Schau verfasste Werk von R. STAUB über die «Grundzüge und Probleme alpiner Morphologie». Von diesem Werk aus erhielt die moderne Molasseforschung einen kräftigen Impuls. Von der Zürcher Schule aus wurde denn auch nach den Vorarbeiten von A. LUDWIG, CH. FALKNER, F. SAXER und E. GEIGER vor allem die Molasse der Ostschweiz untersucht. Dahin gehören die Arbeiten von A. v. MOOS (1934, 1935), K. KLEIBER (1937), H. H. RENZ (1937, 1938), K. HABICHT (1938, 1943, 1945), H. TANNER (1944), F. HOFMANN (1945, 1951, 1955), U. BÜCHI (1945, 1950, 1951), G. WELTI (1950, 1951) und J. SPECK (1949, 1953). In einer neuen Arbeit über den Pass von Maloja hat R. STAUB (1952) die engen Beziehungen zwischen Urrhein-System und ostschweizerischer Molasse erneut sehr klar gezeichnet.

Auch von Basel aus hatte man, ganz besonders in paläontologischer Hinsicht, von jeher ein sehr reges Interesse für die Molassebildungen am Alpenrand wie im Jura gebirge gezeigt. Die Berner Molasse war schon lange, seit B. STUDER, recht gut bekannt und ihre Erforschung nahm unter der Leitung von R. RUTSCH einen neuen, starken Aufschwung. Ähnliches ist zu sagen über die Luzerner Molasse, wo die umfassenden Untersuchungen F. J. KAUFMANN'S bereits um die Mitte des letzten Jahrhunderts die wesentlichen Zusammenhänge aufgezeigt hatten. In der welschen Schweiz hat die USM vor allem durch A. BERSIER eine neue Bearbeitung erfahren. Zudem war die Molasse der Westschweiz, des Bernbietes bis in die Gegend von Aarau durch die erdölgeologischen Untersuchungen von ARNOLD HEIM und A. HARTMANN (1919), H. LAGOTALA (1937), A. ERNI und P. KELTERBORN (1948), H. M. SCHUPPLI (1950, 1952) während und nach dem ersten Weltkrieg einigermassen bekannt geworden. Wie fruchtbar sich die Zusammenarbeit zwischen alpinen Geologen und Molassegeologen gestaltet, zeigen die Arbeiten von W. LEUPOLD, H. TANNER und J. SPECK (1943), und von R. TRÜMPY und A. BERSIER (1954); vergleiche auch R. STAUB (1934a).

Die Geologie der Zürcher Molasse blieb weiterhin unbekannt. Die Gründe dafür wurden schon genannt. Es sind die schlechten Aufschlussverhältnisse, die Monotonie der Schichtabfolge und das Fehlen von auffälligen Leithorizonten, die das Gebiet wenig begehrenswert für eine geologische Detailuntersuchung machten. Die Ausbeutung der Molassekohle während des zweiten Weltkrieges hat für das Gebiet von Käpfnach-Sihlbrugg und für die Kohlenvorkommen Riedhof im Reppischtal und Rossweg bei Adliswil einige neue, willkommene Anhaltspunkte über die Geologie der Molasse geliefert, wor-

über A. VON MOOS (1945, 1946, 1947) in mehreren Publikationen berichtet hat.

Weil die Zürcher Molasse eine wichtige Stellung zwischen der Molasse der Ostschweiz und des Napfgebietes einnimmt und sich zudem die Veränderungen in den Ablagerungsverhältnissen vom alpennahen Gebiet bis gegen den Jura hin verfolgen lassen, musste es eine verlockende, wenn auch langwierige und schwierige Aufgabe sein, ihre geologische Erforschung in Angriff zu nehmen. Ich habe diese Aufgabe um so lieber übernommen, als es schon lange mein Wunsch war, einmal in die Geheimnisse der Molasse der Falätsche und der Albiskette, die mir beide so vertraut waren, eindringen zu dürfen. Neben den Erkenntnissen über die Bildung und Lagerung der Molasseschichten konnten auch eine Reihe von neuen grundlegenden Tatsachen über die Entstehung und heutige Lage des Zürichseetales gewonnen werden.

C. Regionalgeologischer Überblick

(vgl. das tektonische Kärtchen Tafel V)

Auf einer Wanderung vom Rigi bis zur Lägern durchquert man verschiedene Molassezonen. Nördlich anschliessend an den Alpenrand, d. h. anschliessend an die Flysch- und Kreidesteine der Helvetischen Decken, folgt eine im Rigi-Querschnitt 10—15 km breite Zone von tektonisch stark gestörten Molasseschichten. Nicht nur können hier die Schichten sehr steil verstellt worden sein, sondern es sind durch die Untersuchungen von E. BAUMBERGER, A. LUDWIG, R. STAUB, H. RENZ, K. HABICHT und J. KOPP eigentliche Überschiebungen von mächtigen Molasseschollen über jüngere Molasseschichten bekanntgeworden. Als Beispiel sei die mächtige Scholle der Hohrone genannt, welche auch die Tektonik der Zürcher Molasse, z. T. wenigstens, beeinflusst hat. Wegen ihrer Lage nördlich anschliessend an den Alpenrand und wegen ihrer sehr starken tektonischen Beeinflussung durch die letzten alpinen Bewegungsphasen, bezeichnet man die erwähnte Molassezone als «subalpine» Molasse. An ihrem Aufbau sind zur Hauptsache die mehrere tausend Meter mächtigen aquitanen und chattischen Schichten der USM und untergeordnet die Schichten der UMM beteiligt.

Nordwestlich an die subalpine Molasse schliesst sich eine rund 40 km breite Zone von flachgelagerten Molasseschichten an: die sogenannte «mittelländische» Molasse. Die Schichten liegen aber in dieser Zone nicht etwa durchweg horizontal, wie das oft angenommen wurde, sondern wir finden auch hier Schichtverstellungen bis zu 15°. Zudem stellte sich im Laufe der vorliegenden Untersuchungen heraus, wie dies u. a. auch R. STAUB (1934a, 1951) postuliert hatte, dass die Zürcher Molasse durch mehrere Brüche in grosse Schollen zerlegt wurde. Am Aufbau der mittelländischen Molasse sind die jüngeren Molassestufen beteiligt: Die OSM und OMM. Die Zürcher Molasse liegt vollständig in der Zone der «mittelländischen» Molasse. Sie umfasst ausschliesslich die Schichten der OSM.

Es ist interessant, den Übergang von der mittelländischen Molasse zur subalpinen Molasse zu verfolgen. Ausgehend von der flachen Lagerung im Gebiet

von Wädenswil–Stäfa–Wolfhausen–Bubikon, beginnen die Schichten gegen SSE immer stärker anzusteigen. Am Hüllistein misst man bereits 8° NNW-Fallen. Bei Jona sind es 25° , in den Steinbrüchen von Bäch 40° , in der Sihlschlucht bei Schindellegi 50° , im Tobel, das vom Scherenspitz herunterkommt, 70° bis zu senkrechter Stellung. Am Scherenspitz selbst sind die Molasseschichten überkippt, «überbürstet», durch die Überschiebung der Hohrone-Masse und fallen mit $75\text{--}80^\circ$ gegen SSE ein. Die ständige Steilerstellung der Schichten hat zur Folge, dass gegen S zu sukzessive immer tiefere Molasseschichten zum Vorschein kommen. Bei Jona–Lützelau–Ufenau, in den Steinbrüchen von Bäch und in der Sihlschlucht nördlich Finstersee (vgl. S. 286) folgt unter der OSM die OMM und weiter gegen S unter der OMM die USM. Als Grenze zwischen mittelländischer und subalpiner Molasse wurde oft die Grenze zwischen OMM und USM gewählt, doch ziehen wir sie am besten dort, wo mit den ersten Überschiebungen und «Unterschiebungen» die eigentliche subalpine Molasse beginnt (vgl. R. STAUB, 1924, 1934a).

Am NW-Rand der mittelländischen Molasse gegen den Jura hin finden wir wiederum steilgestellte Molasseschichten, die zusammen mit der Jurafaltung steilgestellt, stellenweise auch überkippt und von den mesozoischen Gesteinen der Lägernkette z. B. überfahren wurden. Man bezeichnet die Molasse am Jura-Rand als «subjurassische» Molasse. Auch hier kommen unter der OSM die tiefen Schichten des Molassebeckens zum Vorschein, die OMM und die USM, allerdings in reduzierter Mächtigkeit im Vergleich zu den Mächtigkeiten der entsprechenden Molasseschichten am S-Rand des mittelländischen Beckens. Das ganze Molassegebiet gleicht heute einem flachen, leicht nach E absinkenden Trog, dessen Ränder im N und S im Verlauf der letzten Faltungen in den Alpen und im Jura steil aufgefaltet und im S sogar noch kräftig überschoben wurden (Hohrone, Rigi). Im Innern des Troges sind in über 1000 m Mächtigkeit die jüngsten Sedimente, die OSM, erhalten geblieben.

Vom S-Rand bis zum N-Rand des Troges treten, wie schon lange bekannt, erhebliche Unterschiede in der Ausbildung der Molassesedimente auf, z. B. in Bezug auf Mächtigkeit und Fazies. Es war ganz besonders interessant, einmal im Bereiche der Zürcher Molasse, d. h. innerhalb der OSM, diese Veränderungen quer zur Trogachse zu untersuchen und damit eine Verbindung zu schaffen von den alpennahen Molassegebieten zur juranahen Molassezone. Andererseits liegt die Zürcher Molasse zwischen den mächtigen Hörnli-Nagelfluhen im E und jenen des Napfs im SW. Es galt auch die Stellung der Zürcher Molasse zu diesen beiden grossen alpinen Schuttfächern abzuklären.

III. Stratigraphie und Lithologie der Zürcher Molasse

Zum leichteren Verständnis der folgenden Ausführungen seien die wichtigen Leithorizonte der Zürcher Molasse in ihrer stratigraphischen Aufeinanderfolge (von oben nach unten) kurz aufgeführt (im weiteren vergleiche man die Tabellen auf Seite 260 und Seite 264, ferner Tafel III und Tafel IV und die Darstellung der Leithorizonte auf Seite 251 ff.):

Üetliberggipfel-Nagelfluhen
 Üetliberg-Nagelfluh
 Loorenkopf-Nagelfluh = Burgweid-Nagelfluh
 Baldernschüttung (Sandstein)
 Ophiolith-Nagelfluh, -Sandstein = Höckleregge-Sandsteine, -Glimmersandsteine
 Kalkzone der unteren Falätsche = Fa 610
 Chli-Bürglen-Kalk
 Chli-Bürglen-Nagelfluh
 R 580 (Sandstein, Rütshlibach Kote 580 m)
 R 560 (Sandstein, Rütshlibach Kote 560 m)
 Doldertobelzone (limnischer Kalk)
 R 540 (Sandstein, Rütshlibach Kote 540 m)
 Glimmersandstein vom Entlisberg
 Limnisches Leitniveau der Zürcher Molasse = Wehrenbachniveau =
 «Wetterkalk» von Hombrechtikon
 Türlenzzone (Glimmersandstein)
 Ophiolith-Sandstein und -Nagelfluh vom Sihlzipf
 Bentonithorizont im Künsachter Tobel
 Langnauer Kalk
 Rotzone der Wulp
 Schüppenlochschüttung (Sandstein)
 Gugglerzone (Glimmersandstein)
 Hebeschüttung (Sandstein) = Stäfner Schüttung (Nagelfluh)
 Niveau des «Appenzeller Granites» = Niveau des Meilener Kalkes,
 Niveau der Hüllisteiner Nagelfluh, Niveau des Meilener Sandsteins
 Ophiolith-Nagelfluh von Uetikon
 Kohlenlager von Käpfnach

Als stratigraphischer Abstand zweier Schichten gilt der Abstand von Schichtoberkant zu Schichtoberkant. Ebenso beziehen sich die Kotenangaben (alte Werte) stets auf Schichtoberkant.

A. Die verschiedenen Gesteinsarten

Um uns einen Überblick über die verschiedenen Gesteinsarten der Zürcher Molasse zu verschaffen, begeben wir uns am besten an die Falätsche oberhalb Leimbach. Hier finden wir (mit Ausnahme des Bentonites) praktisch sämtliche Gesteinsarten, die in der Zürcher Molasse überhaupt von Bedeutung sind, aufgeschlossen. Von weitem gesehen fällt die grosse Monotonie der Schichtabfolge auf. Im ganzen 300 m mächtigen Profil, vom Rütshlibach bis zum Grat (N. PAVONI, 1952), ist es uns nicht möglich, einen Schichtverband als eindeutig anders ausgebildet von den umgebenden Sedimenten zu unterscheiden. Anders ist es, wenn wir die Schichten aus der Nähe im Detail uns anschauen. Wir konstatieren einen steten Wechsel von verschiedenen Gesteinslagen: graue, gelbgefleckte Mergel wechseln mit bunten Mergeln, mit sandigen Mergeln, mit schwärzlichen Mergeln, mit mergeligem Sandstein, mit Knauer-sandstein, mit Kalken oder mit Nagelfluh. Man merkt bald, dass ganz gleich ausgebildete Schichten immer wieder auftreten, bald in dieser, bald in anderer Kombination. Die Ausbildung ist so gleichartig, dass es unmöglich ist, die Gesteine im Handstück voneinander zu unterscheiden. Diese stete Wiederholung von Gleichartigem mit einigen unwesentlichen Variationen schafft eben die

typische Molassemonotonie. Allein schon aus diesem Grund erscheint es vorerst fast unmöglich, gewisse Schichten auch in benachbarten Aufschlüssen mit Sicherheit wieder zu erkennen und parallelisieren zu können. Dazu kommen jedoch noch weitere Schwierigkeiten. Meist bestehen nämlich keine scharfen Abgrenzungen zwischen zwei Schichten. Wir finden ganz allmähliche Übergänge, z. B. von sandig zu mergelig, von mergelig zu kalkig, von mergelig zu bituminös usw. Eine Abtrennung der Schichten voneinander ist daher oft sehr schwierig durchzuführen, z. T. sicher etwas subjektiv.

Ähnliches ist zu sagen über die «Farbgebung» der verschiedenen Schichten. Die Farbbezeichnung bezieht sich stets auf den bergfeuchten Zustand des Materials. Man könnte nun denken, dass diese unvermeidliche Subjektivität von schwerwiegenden Folgen sei. Dies ist aber nicht der Fall, weil abermals ein erschwerender Umstand für die Bezeichnung, für die Beurteilung und auch für die Parallelisation der verschiedenen Molasseschichten hinzutritt: Nicht nur in der Vertikalen, sondern auch in der Horizontalen finden wir einen raschen Wechsel in den Schichten und ihrer Ausbildung. So kann ein vier Meter mächtiger Sandstein auf fünf Meter Horizontaldistanz vollständig verschwinden, das Äquivalent dieses Sandsteines sind verschiedene Mergelschichten. Ein Mergelsandstein geht oft rasch in einen gewöhnlichen Sandstein über, ein Knollenkalk vermergelt auf 50 m Distanz. Ein toniger Mergel enthält stellenweise zahlreiche sandige Partien, die weiter entfernt wieder verschwinden. Eine bituminöse Schicht verliert sich auf 100 m Horizontaldistanz zwischen gelben Mergeln. Eine Mergelschicht erscheint stellenweise sozusagen vollständig rot gefärbt; drei Meter daneben treten in derselben Schicht nur vereinzelte rote Flecken auf, die nicht besonders auffallen usw. Auch die Mächtigkeit der Schichten ist grossen Schwankungen unterworfen. Ein Sandstein ist $\frac{1}{2}$ m mächtig, 60 m daneben ist er $7\frac{1}{2}$ m mächtig. Sind diese tatsächlichen Wechsel nicht grösser als die oben genannten, unvermeidlich subjektiv empfundenen Unterschiede? Auch mit einer noch so strengen objektiven Beschreibung kann hier nicht viel geholfen werden. So könnte man z. B. jede Gesteinsprobe im Laboratorium ganz genau untersuchen und bezeichnen. Aber man darf sich durch diese sogenannte Objektivität nicht täuschen lassen: Eine allgemeine Charakterisierung des Gesteins im Felde wird einem in vielen Fällen sicher mehr nützen und weiterhelfen als eine genaue Untersuchung einzelner Handstücke im Laboratorium. Um diese Verhältnisse abzuklären, wurden etliche Proben gerade in Bezug auf diese Frage hin untersucht. Auf Grund dieser Untersuchungen wurde das eben genannte Problem überhaupt erst so klar erkannt. Kalkgehalt-Untersuchungen an Proben aus derselben Schicht, ausgeführt mit dem Passon-Apparat, zeigten Schwankungen von über 20 % auf 1,5 m Horizontaldistanz. Untersuchungen über den Schwermineralgehalt (Schwerminerale im Vergleich zu den übrigen HCl-unlöslichen Mineralien) von Glimmersandsteinen zeigten eindeutig, dass auch in dieser Hinsicht innerhalb ein und derselben Schicht grosse Unterschiede auftreten.

Bevor wir zu faziellen und daraufhin auch zu paläogeographischen Betrachtungen übergehen, seien im folgenden die verschiedenen Gesteinsarten und

ihre besonderen Merkmale beschrieben. Im grossen lassen sich, wie überall in der Molasse, folgende Gruppen unterscheiden: Die Mergel, die Sandsteine, die Nagelfluhen¹⁾, die Kalke, die Kohlen.

1. Die Mergel

Sie stellen naturgemäss eine ausserordentlich mannigfaltige Gesteinsgruppe dar und spielen die Hauptrolle am Aufbau der Zürcher Molasse (vgl. S. 191, S. 212). Im allgemeinen beteiligen sie sich mit 30—50 % an den verschiedenen Molasseprofilen. Unter der Verwitterungszone sind die Mergel ein standfestes Gestein und bilden zusammen mit den übrigen Gesteinen der Molasse den sogenannten «Fels», im Volk genannt «Läberfels», im Gegensatz zum Moränenschutt.

a) Der gewöhnliche Molassemergel

Der gewöhnliche Molassemergel ist ein graues, kräftig gelbgeflecktes, tonig-kalkiges, meist auch feinsandiges Gestein. Der Karbonatgehalt ist ziemlich gross und beträgt im allgemeinen 35—50 %. Bei etwa 75 % Karbonatgehalt kann man, besonders da sich der Kalk an bestimmten Stellen knollenartig anreichert, bereits von einem Mergelkalk sprechen. Auffallend ist der hohe Dolomitgehalt der Sedimente der OSM (vgl. A. von Moos, 1946). Zahlreiche Karbonatuntersuchungen mit dem Passon-Apparat wurden vor allem an den Schichten der Falätsche ausgeführt. Das Verhältnis Kalk : Dolomit betrug im allgemeinen 2:1, öfters aber auch 1:1. Es liessen sich dabei keine gesetzmässigen Unterschiede zwischen den tiefern Partien am Rütshlibach und den höhern Partien der Falätsche erkennen. Der hohe Dolomitgehalt ist auf den bekannten Dolomitreichtum der ostalpinen Decken zurückzuführen, die damals in den Alpen zum Abtrag gelangten. Im Gegensatz zu den Sedimenten der OSM zeigen die Sedimente der USM, die faziell sehr ähnlich sind, einen viel geringeren Dolomitgehalt. Untersuchte Proben zeigten ein Verhältnis Kalk : Dolomit von etwa 4:1 bis 5:1. Die Mergelschichten weisen kaum je Mächtigkeiten von mehr als sechs Metern bei durchweg vollständig gleichartiger Beschaffenheit auf, sondern sie werden immer wieder abgelöst durch etwas anders ausgebildete Mergelschichten oder andere Gesteinsschichten. Die gewöhnlichen Molassemergel waren ursprünglich von grauer Farbe. Das erkennt man sehr schön in den eintönigen Mergelserien, die stratigraphisch etwa 100 m über dem sogenannten «limnischen Leitniveau» beginnen (s. dazu S. 253). Die grauen Mergel sind durchweg gelbgefleckt, wobei meistens die gelben Flecken so überhandnehmen, dass das ganze Gestein gelb mit einigen grauen Stellen erscheint. Auch der Sandgehalt ist typisch für die gewöhnlichen Molassemergel. Fast immer gehen die sandigen Mergel in allmählichem Übergang aus liegenden Sandsteinen hervor. Ein allmählicher Übergang von einem liegenden Mergel zu einem hangenden Sandstein kommt nur ausnahmsweise vor, eine Beobachtung, die für die Deutung der Sedimentationsvorgänge von Bedeutung ist.

¹⁾ Nagelfluh ist ein alter Ausdruck für Konglomerat.

b) *Bunte Mergel*

Buntgefärbte Mergelschichten findet man sehr oft in der Zürcher Molasse. Am häufigsten tritt der Fall auf, dass gelbe Mergelschichten und auch Mergel-sandsteine rot bis rotviolett gefleckt sind. Die Rotfärbung kann nur sehr spärlich und blass sein oder auch kräftig und reichlich, so dass die rote Farbe überwiegt. Die roten Farbtöne sind verschieden und können rasch wechseln: ziegelrot, weinrot, violettrot, purpurrot, rosa, orange, braunrot, rostbraun. Man kann in sehr vielen Fällen eindeutig feststellen, dass die Rotfärbung von einem Zentrum, meist von einem feinen Riss oder Sprung im Gestein oder auch von fossilen Wurzelresten ausgeht. Man hat unbedingt den Eindruck, dass man es hier mit einer autochthonen, fossilen Rotfärbung zu tun hat, besonders wenn die umgebenden Schichten davon ganz unbeeinflusst bleiben und eine gewöhnliche graugelbe Färbung zeigen. Auch sandige Einschwemmungen in dichten bunten Mergeln bewirken sehr oft eine Verfärbung der betreffenden Stelle. Die Rotfärbung tritt dann meist ringförmig in einem Abstand von mehreren Millimetern von der sandigen Einschwemmung weg auf. Der direkt an den Sand anschliessende Mergel ist im Kontakt mit diesem entfärbt oder auch grünlich gefärbt. Ähnliche Verfärbungserscheinungen können an Mergelgeröllen, die aus den liegenden Mergelschichten stammen und in die Basis von Sandsteinen eingeschwemmt wurden, beobachtet werden. Durch und durch rotgefärbte Schichten sind viel weniger häufig anzutreffen, dahin gehören z. B. die Vorkommen Peterstobel (NW Zürichberg) Kote 570 m, Falätsche Kote 656 m, Rotzone an der Wulp Kote 500 m, Felseneggweg Kote 717 m, Sagentobel Kote 538 m, 527 m.

Die letztgenannten kräftig rotgefärbten Mergel erreichen nie mehr als $\frac{1}{2}$ m Mächtigkeit. Auch hier handelt es sich um «autochthone», vielleicht etwas verschwemmte Roterdebildungen. Überhaupt scheinen die roten und rötlich gefärbten Schichten am Albis, Üetliberg und Zürichberg «autochthonen» Ursprungs zu sein, wären sie allochthon, so müssten in diesen Gebieten auch rotgefärbte Sandsteine und Nagelfluhen gefunden werden.

Etwas anders sind die Verhältnisse im Gebiet der Glattalschwelle und des Pfannenstiels. Hier treffen wir, insbesondere im Niveau des Wetterkalkes von Hombrechtikon, sehr ausgedehnte, bis mehrere Meter mächtige rote Mergelzonen. Die Färbung ist etwas verschieden von den oben genannten Vorkommen. Die Mergel sind durch und durch graurötlich gefärbt. Es treten keine intensiven Rotfarben auf, dafür ist das Gestein ganz gleichmässig mit Farbe durchsetzt. Hier finden wir auch gelegentlich rötlich gefärbte Nagelfluhen und Sandsteine, wobei das rote Material durch Einschwemmung in die betreffenden Gesteine gelangt ist. Allerdings liegen sie immer über roten Mergelzonen. Dahin gehört besonders die mächtige Nagelfluhbank im Liegenden des Wetterkalkes von Hombrechtikon. Sie liegt über einer sehr ausgeprägten Zone rötlicher Mergel, die weit ausgedehnt ist. Ebenso folgen über dieser Nagelfluh rötliche, kalkige Mergel, die die Basis des Wetterkalkes bilden und im Gebiet der Glattalschwelle eine ebenso weite Verbreitung besitzen wie der Wetterkalk selbst. Dieser ist an seiner Basis ebenfalls rotgeflammt. Ob es sich bei diesen Fällen von Rotfärbung um von weit her, von den Alpen oder von der roten Molasse her eingeschwemmtes rotes Material handelt, ist nicht leicht zu entscheiden. Auffällig ist, dass solche mächtigere, durchziehende rötliche Zonen sich vor allem im Gebiet der Glattalschwelle, d. h. gegen das Zentrum des Hörnlichuttflächers hin, finden.

Im Gebiet von Hombrechtikon–Bubikon bildet der Wetterkalk auf weite Erstreckungen praktisch den direkt aufgeschlossenen Untergrund (vgl. S. 232). Das hat zur Folge, dass ge-

wisse Bäche einen grossen Teil ihres Einzugsgebietes im Niveau des Wetterkalkes und in der dazugehörigen Rotzone haben. Aus diesem Grunde führt z. B. der Bach von Berlikon (N von Feldbach) leicht rötlich gefärbtes Wasser, und der reiche Kalkabsatz in seinem Bette ist durchgehend rotgefärbt.

Roterdebildungen deuten bekanntlich auf Verwitterungserscheinungen hin. Es erscheint zunächst eigenartig, dass bunte rote Mergel oft noch einen beträchtlichen Karbonatgehalt aufweisen. Gerade die Knollenkalke sind oft rötlich gefärbt. Die Rotfärbung scheint sich aber auch hier auf Risse und Mergelnähte zwischen den Kalkknollen zu konzentrieren. Von diesen Rissen aus scheint die Rotfärbung auszugehen. Es wurden in dieser Hinsicht bunte Mergel auf ihren Karbonatgehalt hin untersucht. So ergaben die dunkelgelben, kalkigen Mergel im Rüttschlibachtobel ob Zürich-Leimbach auf Kote 526 m einen Karbonatgehalt von 62 % (Kalk : Dolomit = 2 : 1). In diesen Mergeln sind bunte, violette und grüne Lagen und Spalten enthalten. Das Material in den Spalten und Taschen wurde gesondert auf seinen Karbonatgehalt hin untersucht. Er betrug 0— $\frac{1}{2}$ % und 2—3 %. Es handelt sich somit um Fälle eindeutiger autochthoner fossiler Verwitterung.

Die grünen, besonders die dunkelgrünen Mergel zeigten in allen untersuchten Proben einen sehr geringen Karbonatgehalt von höchstens einigen Prozenten.

Auch hier handelt es sich sicher um Anreicherungen festländischer Verwitterungsprodukte. Wegen ihres grossen Tongehaltes fühlen sie sich im nassen Zustand wie Seife an. Ihre Mächtigkeit überschreitet kaum einen Meter. Die Farbe kann variieren von Hellgrün, Gelbgrün, Grasgrün, Meergrün, Blaugrün, Olivgrün bis zu Braungrün. Recht oft erscheinen die grünen Mergel im Verbande mit bituminösen Mergeln, doch bleibt ihr Fossilgehalt im allgemeinen gering. Ebenso wie eine Rotfleckung kann eine Grünfleckung der Molassemergel beobachtet werden. Oft treten beide Farben zusammen in derselben Schicht auf. Es scheint, dass die Grünfärbung in reduzierendem Milieu auftritt, während Rotfärbung in oxydierender Umgebung vorkommt. In den grünen, tonigen Mergeln, 35 cm über dem Stinkkalk im Sagentobel, wurden von J. NEHER autochthone Neubildungen von Dolomit, kleine idiomorphe Kriställchen von 0,1 mm Durchmesser gefunden.

Kräftig gelbe Mergel, eigelbe Mergel, ockergelbe Mergel und ihre Abarten zeigen im allgemeinen ebenfalls einen niedrigeren Karbonatgehalt als die gewöhnlichen graugelben Molassemergel.

c) Feinstgeschichtete Mergel

Bei Profilaufnahmen trifft man immer wieder auf gelbe, oft bunte Mergel, die eine ausserordentlich feine Schichtung aufweisen. Ihr Material ist ebenfalls sehr fein, doch erkennt man, dass es sich um feinstkörniges detritisches Material handelt, um Glimmerschüppchen, feinsandiges und toniges Material, das in feinen Schichten von Bruchteilen von Millimetern Mächtigkeit abgelagert wurde. Hie und da kann auch etwas gröberes Material in ebenfalls feinen Schichten darin auftreten. Entlang den Schichtflächen, meist entlang etwas sandigeren oder glimmerreicheren Lagen, lassen sich die Mergel leichter ablösen. Beim Trocknen an der Sonne blättern sie auf wie ein Buch. Die Feinschichtung lässt sich im Detail oft gut verfolgen. Sie kann aber lokal infolge subaquatischer Rutschungen, durch Diagenese oder «compaction»²⁾ verwischt

²⁾ «compaction» = Zusammendrückbarkeit der Gesteine unter dem Druck der überlagernden Gesteinsmassen. Diese kann, je nach der Art der Gesteine, sehr verschieden gross sein (vgl. u. a. A. von Moos, 1945).

worden sein. Man findet in den feinstgeschichteten Mergeln öfters Abdrücke von Blättern von Monokotyledonen, meist von Schilf. Das Auftreten von solchen vereinzelt versteinerten Schilfblättern ist direkt bezeichnend für diese Mergel (Phragmitesmergel). Die Abdrücke sind stets ausserordentlich fein und lassen die zartesten Details erkennen. Von der organischen Substanz fehlt meist jede Spur, höchstens dass die Abdrücke rostfleckig sind.

Typisch für diese Mergel sind auch fossile Wurzelreste, wahrscheinlich von Gräsern stammend. An der Falätsche, im SE-Profil auf Kote 610 m fand sich ein prachtvoll erhaltenes Blatt von *Salix Lavateri* (A. Braun s. R. Hantke). Auch Wurmgänge, die meistens mit feinem Sandstein ausgefüllt sind, lassen sich in diesen Mergeln erkennen. Als Ganzes können die feinstgeschichteten gelben Mergel bis 2 m mächtig werden und, wie es sich gezeigt hat, auf beträchtliche Distanzen durchziehen. Als Vorkommen seien genannt: Falätsche Kote 620 m, Kote 667 m, Kote 715 m, Kote 768 m; Entlisberg Kote 462,5—465 m, Kote 477—478 m, 483—485 m.

d) Glimmermergel

Die Glimmermergel bilden eine auffallende Mergelgruppe für sich, die man in bestimmten stratigraphischen Niveaus antrifft und die jeweils vollständig gleich ausgebildet sind. Es handelt sich um graugrüne, massige, oft leicht bräunlichgelb gefleckte Mergel. Wenn man sie zerbricht, erkennt man, dass sie sozusagen vollständig aus einer Anhäufung feinsten Muskowitschüppchen bestehen, die dem Bruch einen charakteristischen, seidigen Glanz verleihen. Die Schüppchen sind wohl infolge ihrer Feinheit nicht ausgesprochen lagig, sondern eher richtungslos, massig angeordnet.

Die Glimmermergel stehen immer im Zusammenhang mit Glimmersandsteinen (s. S. 150) oder sonst sehr glimmerreichen Sandsteinen. Auch sie entsprechen, wie die feinstgeschichteten Mergel, Perioden sehr ruhiger Ablagerung, während welchen der allerfeinste Schlamm und die Flusstrübe sich allmählich absetzten. Während den ruhigen Zeiten ihrer Sedimentation konnten sich Flora und Fauna stärker entwickeln, denn sie enthalten oft Versteinerungen von Blättern, von terrestrischen und limnischen Schnecken und von Wirbeltieren. Sie gleichen in ihrer Ausbildung vollständig den Mergeln, in denen die reiche Flora der Schrotzburg (R. HANTKE, 1953) gefunden wurde. Niveaus mit Glimmermergeln und Glimmersandsteinen finden sich 10 m unter dem limnischen Niveau, direkt über dem limnischen Niveau, 25 m über dem limnischen Niveau, 120—130 m über dem limnischen Leitniveau (vgl. S. 256).

e) Grauweisse Mergel

Die grauweissen oder auch hellgrauen Mergel stellen ebenfalls recht typische Schichtglieder der Zürcher Molasse dar und seien daher an dieser Stelle noch besonders hervorgehoben. Sie unterscheiden sich durch ihre hellgraue bis weissliche Farbe und durch ihre massige, dichte, meist feinsandige Ausbildung von den übrigen Molassemergeln. Manchmal sind sie leicht bräunlich gefärbt durch einen gewissen Gehalt an organischer Substanz; sie sind sozusagen immer fossilführend. Sie enthalten in unregelmässiger Verteilung Heliziden, Landschnecken, in vollständiger Erhaltung, z. T. noch mit der ursprünglichen Streifung, oder auch nur Schalenbruchstücke. Dieser Fossilinhalt ist so typisch, dass man diese Mergel als Helizidenmergel bezeichnen könnte. In unregel-

mässiger Weise können besonders in den oberen Partien Kalkkonkretionen auftreten, die in gewissen Fällen so häufig werden, dass die Mergel in einen grauweissen Knollenkalk übergehen, der in seltenen Fällen auch Heliziden enthält (Falätsche Kote 618 m). Die grauweissen Mergel gehen nach oben sozusagen immer allmählich in bituminöse Mergel über. Zwischen den grauweissen Mergeln und den bituminösen Mergeln besteht eine unverkennbare enge Beziehung, auf die im folgenden Abschnitt näher eingegangen werden soll.

Typische solche grauweisse Helizidenmergel finden sich am Entlisberg, am Rütshlibach, überhaupt im ganzen Albis-Zimmerberggebiet, an der Basis des limnischen Niveaus. An der Falätsche auf Kote 605 m findet sich ebenfalls ein bis gegen die Höckleregg durchziehendes, aber wahrscheinlich noch ausgedehnteres Vorkommen solcher Mergel. Ein weiteres Niveau mit prachtvoll erhaltenen Heliziden lässt sich, stratigraphisch 30 m unter dem Wetterkalk von Hombrechtikon liegend, von Grundhalden/Stäfa bis zum Dorlentobel verfolgen. Die hellgrauen, Heliziden führenden Mergel im Liegenden des Kohlenlagers von Käpfnach und im gleichen Niveau auf der rechten Seeseite bei Dollikon W Uetikon gehören in die gleiche Gruppe von Mergeln. Ebensolche Helizidenmergel findet man am Prallhang der Sihl, gegenüber der Spinnerei Langnau a. A., im Verband mit dem dort auftretenden Knollenkalk (vgl. S. 206).

f) *Bituminöse Mergel*

Darunter verstehen wir durch organische Substanz braun- und schwarzgefärbte Mergel. Sie treten in allen Molasseprofilen häufig auf, an der Falätsche, insbesondere in den untern Partien, alle 5—10 m. Die braunen Mergel sind durch bitumenartige Substanzen gefärbt und enthalten fast immer tierische Fossilreste.

Zu diesen dunkelbraunen bis violettbraunen Mergeln gehören die bituminösen, limnischen Ablagerungen, die eine Unmasse von Schalenrümmern von limnischen Mollusken und häufig auch Wirbeltierreste führen. Solche eindeutig limnische Bildungen finden wir vor allem im «limnischen Leitniveau» der Zürcher Molasse, ferner am Entlisberg in grösserer Ausdehnung 7 m über dem limnischen Leitniveau, desgleichen in der limnischen Zone (Doldertobelzone) 40—50 m über dem limnischen Leitniveau. Ein weiteres Niveau mit limnischen bituminösen Mergeln und 2—3 cm Stinkkalk voll kleinen Planorben trifft man etwa 15 m unter der Üetilberg-Basisnagelfluh. Am E-Hang unter dem Bürglenstutz finden sich lokal limnische bituminöse Mergel mit etwa 10 cm Stinkkalk. Die limnischen Mergel sind relativ karbonatarm. Ihr Karbonatgehalt übersteigt kaum 10 %, so dass man sie eher als Tone bezeichnen müsste.

Anderer Art und Entstehung sind die grünbraunen bis schwarzen Mergel. Sie erhalten ihre Farbe durch mehr oder weniger reichliche Beimengung feinerer und gröberer, vorwiegend kohligter Teile und auch bituminöser Substanzen. Ihr Karbonatgehalt ist meistens auch stark reduziert. Detritische Beimengungen sind häufig. Die Fossilführung ist verschieden, oft findet man darin keine Spur von tierischen Resten, in der Mehrzahl der Fälle aber bei einigem Suchen spärliche Schalenrümmern von Landschnecken, manchmal sogar sehr schön erhaltene, kaum zerdrückte. Dies ist besonders in den stark sandigen, bituminösen Mergeln der Fall, wo keine stärkere «compaction» (s. Anm. S. 137) stattfand. Als Beispiele seien genannt die bituminösen Mergel am Entlisberg Kote 483 m, Rütshlibachtobel Kote 545 m, direkt am Bach, Falätsche Kote 687 m.

Bei den bituminösen Mergeln handelt es sich durchweg um autochthone Bildungen, denn immer erfolgt vom Liegenden her eine allmähliche Zunahme des organischen Gehaltes. Die damit verbundene dunkle Färbung der Schicht wird gegen oben immer intensiver. Gegen die hangenden Schichten sind die bituminösen Mergel stets mit scharfer Grenze abgetrennt. Die braunviolettlichen bituminösen Mergel mit limnischen Fossilien sind Ablagerungen am Grunde stehender Gewässer. Bei der zweiten Gruppe, den schwärzlichen, kohligen Mergeln, handelt es sich um fossile Bodenbildungen, somit um Anzeichen von Perioden terrestrischer Vegetation. Diese fossilen Profile lassen sich sehr wohl mit rezenten Bodenprofilen vergleichen. Die Zeitdauer dieser Vegetationsperioden ist schwierig abzuschätzen. Auf jeden Fall kam es nur in seltenen Fällen zu eigentlicher Kohlenbildung. Man darf aber daraus nicht schliessen, dass es sich durchweg nur um kurzfristige Vegetationsperioden handelte. Die Bedingungen für Kohlenbildung waren nur in seltenen Fällen erfüllt. Andererseits können Braunerdeböden Zehntausende von Jahren alt sein, ohne dass die Humuszone sehr mächtig zu sein braucht.

Auffällig ist die häufige Vergesellschaftung von bituminösen Mergelschichten mit hellen, kalkigen Mergeln oder Mergelkalken im Liegenden. Dass hier ein Zusammenhang besteht, ist unverkennbar. Es ist möglich, dass nach einer längeren Überschwemmungsperiode sich als Letztes feiner, kalkhaltiger Schlamm absetzte, das Wasser sich dann endgültig verlor und die Vegetation überhandnahm. Oder es setzte ein eigentlicher Verlandungsprozess ein, verbunden mit organisch-chemischer Kalkausscheidung und Seekreidebildung. Der häufigste Fall war wohl der, dass Karbonate, die in der Vegetationsschicht gelöst wurden, in den darunterliegenden Mergeln wieder konkretionsartig ausgeschieden wurden, somit unter der Humusschicht eine Kalkanreicherung erfolgte. Der Kalk, der in den bituminösen Mergeln fehlt, ist in den darunterliegenden Mergeln angereichert. Diese Anreicherung war um so eher möglich, als es sich um total flache Gebiete handelte, in denen Wasser lange Zeit liegenblieb oder verdunstete.

g) «Brekziöse» Mergel

Bei Detailuntersuchungen stösst man hie und da auf Mergelschichten, meist von gelber oder bunter Farbe, die ein eigenartiges «brekziöses» Aussehen besitzen. Auf sauberer, glatter Oberfläche — am ehesten erkennbar, wo z. B. ein Bach über die Schichten hinwegfliesst — zeigen sich nämlich Umriss von unregelmässigen, grossen und kleinen Mergelstücken, oft von verschiedener Farbe, die in einer, meist anders gefärbten mergeligen Grundmasse liegen. Man hat unbedingt den Eindruck, dass diese Mergel in halbplastischem Zustande aufgearbeitet und wieder verfestigt wurden. Solchermassen durchwalkte Mergel findet man — wenn man einmal darauf aufmerksam geworden ist — recht häufig, besonders in ausgesprochenen Mergelzonen.

2. Die Sandsteine

Die Sandsteine stehen in Bezug auf Mannigfaltigkeit und Häufigkeit im Gebiete der Zürcher Molasse den Mergeln kaum nach. Wegen ihrer grösseren Härte, und da sie nicht so leicht verwittern wie die Mergel, treten sie im Landschaftsbild morphologisch deutlich hervor. Es lassen sich verschiedene Gruppen von Sandsteinen unterscheiden, die im Feld meist gut auseinanderzuhalten sind und die auch verschiedener Entstehung sind.

a) Die Mergelsandsteine

Schon in der Farbe und in der Art der Verwitterung verrät sich der Mergelgehalt der Sandsteine. Ihre Farbe ist vorwiegend gelblich, grau, gelbgefleckt, evtl. leicht bräunlich. Der Sandgehalt ist verschieden und es bestehen alle Übergänge zu sandigen Mergeln und zu mergelfreien Sandsteinen. Meist sind die Mergelsandsteine regelmässig und gut gebankt, weil mehr oder weniger mergelhaltige Lagen miteinander abwechseln. Es kann der Fall eintreten, dass eine Mergelsandsteinbank seitlich ohne scharfen Übergang in sandige Mergel übergeht und diese weiter entfernt wieder durch Mergelsandstein ersetzt werden. Die Mergelsandsteine gehen meistens in allmählichem Übergang aus Knauersandsteinen hervor. Sie bilden das Hangende der Knauersandsteine und sind dann eher von mittlerer Korngrösse (Hauptfraktionen 0,1—0,4 mm, mit beträchtlichem Silt-Ton-Anteil). Auch wenn die Knauersandsteinrinne aussetzt, können sie noch weiter durchziehen, denn sie sind im Laufe weiträumiger Überschwemmungsperioden abgelagert worden. Wenn man einen 1—3 m mächtigen, gröberen Mergelsandstein antrifft, kann man fast mit Sicherheit annehmen, dass im selben Niveau an der Basis irgendwo ein Knauersandstein auftritt. Auch gegen das Hangende hin zeigen die Mergelsandsteine im allgemeinen keine scharfen Übergänge. Im Gegensatz zu den gewöhnlichen Mergelsandsteinen können feinkörnige Mergelsandsteine, besonders wenn sie einen grösseren Kalkgehalt annehmen, recht hart werden (s. S. 152).

b) Die Knauersandsteine

Gegenüber den Mergeln treten sie in der Zürcher Molasse quantitativ eher zurück. Sie sind aber in ihrer Art so typisch für die OSM, dass man auch schon von der Knauermolasse gesprochen hat. Die richtigen Knauersandsteine sind mergelfrei. Ihre Farbe ist grau, doch können sie bei stärkerer Verwitterung gelbliche oder auch rostbraune Färbung annehmen. Sie zeigen fast immer mittlere und grobe Körnung, d. h. die Siebfraktionen von 0,1—0,2 mm und > 0,2 mm nehmen gewichtsmässig den grössten Anteil am Aufbau der Knauersandsteine. Feinkörnige Knauersandsteine, d. h. Knauersandsteine, bei denen die Fraktionen < 0,1 mm überwiegen, konnten in den untersuchten Proben nicht beobachtet werden. Obwohl wir uns nicht speziell mit einer detaillierten petrographischen Untersuchung der Molassegesteine befasst haben und meistens die feldmässige Charakterisierung der Gesteine für unsere Zwecke, d. h. für die Festlegung der Stratigraphie und der Tektonik genügte, seien an dieser Stelle dennoch einige Bemerkungen über die petrographische Zusammensetzung und über die Untersuchungsmethoden (E. GEIGER, 1943; R. RAMSEYER, 1953) an Molassesteinen erlaubt.

Eine möglichst objektive Bezeichnung der Molassesedimente ist selbstverständlich erwünscht und zu erstreben. Sie ist aber nur mit Hilfe zeitraubender Untersuchungsmethoden im Laboratorium zu erreichen. Die Beschreibung eines Molasseprofils von einigen Dutzend Metern würde somit mehrere Wochen beanspruchen. Dazu kommt, dass die Molasseschichten in ihrer petrographi-

schen Zusammensetzung sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung relativ sehr stark variieren können, so dass man, um eine wirkliche Objektivität zu wahren, unbedingt gezwungen wäre, von jeder Schicht mehrere Proben zu untersuchen (man vgl. die Ausführungen auf S. 134). Damit ergibt sich von selbst ein kaum zu lösendes Problem: Entweder relativ objektive, zeitraubende Labormethoden oder relativ subjektive rasche Beurteilung im Feld. Es besteht somit die Tendenz, die Labormethoden möglichst einfach zu gestalten. Rasche, einfache Labormethoden vermindern jedoch den eigentlichen Wert solcher Untersuchungen in starkem Masse. Die ganze Probe einfach mit verdünnter Salzsäure zu behandeln (E. GEIGER, 1943; R. RAMSEYER, 1953) wird gerade im Falle der Knauersandsteine vielfach zu einem falschen Bild führen, indem nicht auseinandergehalten werden kann, welcher Teil des Karbonatgehaltes aus dem kalkigen Bindemittel und welcher Teil aus dem der Kalkkomponenten stammt. Ein Kalksandstein (s. P. NIGGLI, 1948) ist eindeutig ein Sandstein und nicht ein Kalk oder Sandkalk, wie er nach den Vorschlägen von R. RAMSEYER (1953) bezeichnet werden müsste. F. HOFMANN (1955a) hat das Problem insofern umgangen, als er lockeren Sand oder nur schwach verkittete Knauersandsteine untersuchte.

Wir möchten an dieser Stelle auch noch kurz auf die Unterscheidung Knauersandstein — Glimmersandstein eintreten. In Bezug auf die Korngrößenverteilung sind nach unseren Untersuchungen in der Zürcher Molasse zwischen den beiden Sandsteingruppen keine wesentlichen Unterschiede festzustellen. Es handelt sich um mittel- bis grobkörnige Sandsteine (s. oben). Dagegen sind eindeutige Unterschiede im mengenmässigen Anteil der verschiedenen Mineralien im Vergleich zu den Knauersandsteinen festzustellen:

Die Knauersandsteine: Sie führen häufig, oft bis über 50 Gewichtsprozente, Karbonatkomponenten, ferner eckige Trümmer von Radiolarien-Hornsteinen. Der Quarzgehalt tritt dementsprechend zurück. Die Quarzkörner sind eckig, splitterig, nicht gerundet. Muskowit und Chlorit sind stets vorhanden, manchmal häufig. Biotit tritt ebenfalls auf. Im Schweremineralanteil fallen schlecht bis schwach gerundete Trümmer von ophiolithischem Material durch ihre Häufigkeit auf. Granat ist stets vorhanden. Im übrigen kommen Erze, Staurolith, Disthen, Epidot, Hornblende, Zirkon, Apatit vor.

Die Glimmersandsteine: Es handelt sich um Quarzsandsteine. Die Quarzkomponenten sind eckig, splitterig, überhaupt nicht gerundet. Karbonatkomponenten fehlen sozusagen ganz. Muskowit, Chlorit, aber auch Biotit (Glimmersandsteinzone der Käshalde N Seebach) sind häufig und charakteristisch. Im Schweremineralanteil ist vor allem der Granat stark vorherrschend. Ophiolithtrümmer treten zurück, sind aber meist vorhanden. Die übrigen Schweremineralien sind etwa gleich häufig wie in den Knauersandsteinen. Wir finden somit in den Glimmersandsteinen keine Mineralien, die den Knauersandsteinen fremd wären. Die Glimmersandsteine sind nach unserer Auffassung durch wiederholte Aufarbeitung und Auslese aus alpinem Geschiebematerial hervorgegangen (s. S. 150).



Abb. 2 Knauersandsteinrinne im Rütchlibachtobel auf Kote 530 m. Die Erosionsdiskordanz zwischen den horizontalliegenden Mergeln und dem Knauersandstein ist deutlich zu erkennen. Die Rinne ist 5 m tief in die Mergel eingeschnitten. Der Knauersandstein ist links auf dem Bild 7 m mächtig.

Die Mächtigkeit der Knauersandsteine zeigt grosse Unterschiede auch innerhalb derselben Bank. Am Knauersandstein im Rütchlibachtobel auf Kote 530 m stellen wir auf 10 m Horizontaldistanz eine Mächtigkeitsabnahme um 4,5 m fest. Die in der südlichen Falätsche 12 m mächtige Knauersandsteinbank auf Kote 690—700 m hat als Äquivalent in der nördlichen Falätsche eine Sandsteinbank von einem halben Meter Mächtigkeit. Dasselbe gilt für die 8 m mächtige «obere» Knauersandsteinbank auf Kote 755 m. Neben den weit ausgedehnten, mächtigen Nagelfluh-Knauersandstein-Horizonten, die als flächenhafte Schüttungen im Gefolge von Senkungsvorgängen auftreten, finden wir in der Zürcher Molasse sehr oft rinnenförmig gelagerte Knauersandsteine. Als Schulbeispiel für eine solche Knauersandstein-Stromrinne mag die schon erwähnte Knauersandsteinbank im Rütchlibachtobel auf Kote 530 m gelten (Abbildung 2).

Wir erkennen hier sehr schön, wie die horizontal gelagerten Molassemergel durch den Knauersandstein an einer scharfen Fläche abgeschnitten werden. Im oberen Miozän hatte sich hier ein Fluss 4,5 m tief in die Mergel eingeschnitten. Das Flussbett wurde später mit Sand ausgefüllt, den wir heute im Knauer-

sandstein vor uns haben. Es ist dies ein eindrückliches Beispiel von Erosionsdiskordanz. Andere, ebenso eindrückliche Beispiele könnten noch viele genannt werden. Das unvermittelte, scharfe Einsetzen der Knauersandsteine und auch der Nagelfluhen über den liegenden Molasseschichten ist ebenfalls ein Charakteristikum für diese Schichten. Die scharfe Grenzfläche zwischen dem Knauersandstein und den liegenden Schichten wird durch die Verwitterung stets noch stärker herausgearbeitet. Meistens bilden weiche Mergel, welche relativ rasch zurückwittern, das Liegende der harten Knauersandsteine, so dass der Knauersandstein oder die Nagelfluh wie ein Dach, oft mehrere Meter, über die Mergel hinausragt. In solchen Fällen kann man die Grenzfläche Knauersandstein-Mergel von unten betrachten. Man steht dann gewissermassen unter dem alten Flussbett, welches, in Sandstein gegossen, in seiner Form bis heute erhalten geblieben ist. Wir erkennen, dass die Basisfläche der Stromrinne langgestreckte, unregelmässige Furchungen und Wülste und andere eigentümliche Formen, die durch die Kolkwirkung des fliessenden Wassers in den liegenden Mergeln erzeugt wurden, aufweist. Die Wülste liegen mit ihrer Längserstreckung mehr oder weniger in der einstigen Fliessrichtung des Wassers.

An der Sohle der Knauersandsteinbänke können wir weitere interessante Beobachtungen anstellen. Hier hat sich im allgemeinen das grösste Material angesammelt und wir finden eine reiche Musterkarte von dem, was durch den Fluss alles zusammengeschwemmt wurde. Hie und da liegen am Grunde des Knauersandsteines einzelne Gerölle oder gar eine ganze Schicht von Geröllen. Mergelgerölle, d. h. abgerollte Stücke von Molassemergeln, die durch den Fluss wegerodiert wurden, sind fast immer vorhanden. Sie bilden oft ganze Lagen im Knauersandstein. Es ist in vielen Fällen, besonders an der seitlichen Begrenzung einer Stromrinne, möglich, genau zu bestimmen, von welchen liegenden Mergeln sie abstammen. Die gute Rundung und der Erhaltungszustand dieser Mergelgerölle beweisen uns, dass schon zur Zeit als jene Flüsse sich eintieften, die Molassemergel im allgemeinen so verfestigt waren, wie sie es heute sind. Eine Ausnahme von dieser Regel fand ich im Niveau des Meilener Sandsteins (s. S. 252) an der Sihl bei Station Sihlbrugg. In diesem Sandstein sind die Gerölle des beigefarbenen Mergelkalkes (Meilener Kalk) zum Teil eigenartig verwischt, und es lässt dies die Vermutung zu, dass die Schüttung des Meilener Sandsteines in den noch nicht überall vollständig diagenetisch verfestigten Mergelkalk erfolgte.

Die Entstehung der Stromrinne ist ein Problem für sich. Nagelfluhen und Knauersandsteine sind im Prinzip genetisch eng miteinander verbundene Bildungen. Weil es sich um das grösste Material handelt, das in der Molasse abgelagert wurde, ist man geneigt, die Zeit ihrer Ablagerung als Zeit besonders starker Schüttungsintensität anzunehmen. Durch Hebungen in den Alpen wäre das Gefälle der Flüsse vergrössert und damit ihre Transportkraft erhöht worden. R. STAUB (1953) nimmt für die Entstehung der obersten Nagelfluhen am Albis-Üetliberg eher eine Vergrösserung der Wassermassen, bedingt durch abschmelzendes Eis in den Alpen, an. Seiner Meinung nach wären diese Nagel-

fluhen ein Anzeichen für eine schon jungtertiäre Vergletscherung in den Alpen.

F. HOFMANN (1951) fasst in seiner Arbeit über die st. gallisch-thurgauische OSM die Knauersandsteine und Nagelfluhen zu einer komplexen Schüttungsfazies zusammen und schreibt auf S. 9: «Während in Gebieten mit starker Schüttung, besonders an der Thur südlich Wil und an der Glatt die Nagelfluhen als typische Stromrinnen auftreten, bilden sie im N und E viel durchgehendere Schichten, die sich teilweise über viele Kilometer verfolgen lassen und auf weit ruhigere Sedimentationsverhältnisse deuten.» In der Zürcher Molasse können wir ebenfalls zwischen flächenhaften, weit ausgedehnten Knauersandstein- und Nagelfluhschüttungen und rinnenförmig gelagerten Knauersandsteinen unterscheiden. Wir wollen im folgenden speziell noch etwas näher auf das Problem der Rinnenbildung eingehen. F. HOFMANN bringt die Entstehung der Rinnen mit intensiver Schüttung in Zusammenhang. Die Zürcher Molasse mit ihren typischen Rinnenbildungen war sicher ein Gebiet mit eher ruhigen Sedimentationsverhältnissen. Es besteht solcher Art zwischen den Verhältnissen wie F. HOFMANN sie schildert und den Beobachtungen aus der Zürcher Molasse ein scheinbarer Widerspruch und es erhebt sich die Frage: Erfolgte die Bildung der Stromrinnen zugleich mit der Schüttung des Nagelfluh- oder Sandmaterials oder war die Rinne zur Hauptsache schon da, bevor die Schüttung intensiv einsetzte? Die Beobachtungen im Molassegebiet von Zürich scheinen für die letztere Ansicht zu sprechen und dies aus folgenden Gründen:

1. Die Knauersandsteine sind ganz besonders an ihren basalen Partien sauber geschlämmt, mergelfrei. Wäre die Rinne erst während der Sandflut ausgehoben worden, so müsste sich das ausgehobene Molassematerial mit dem Kies und dem Sand aus den Alpen durchmischen haben. Es müssten also die Knauersandsteine und Nagelfluhen durchweg mergelhaltig sein.

2. Die Knauersandsteine zeigen fast immer Deltaschichtungen und andere schiefe Feinschichtungen in wechselnder Anordnung, was auf ruhigere Ablagerungsbedingungen in schon vorhandenen Rinnen hindeutet.

3. Ein sehr gewichtiger Umstand für das schon primäre Vorhandensein der Stromrinne ist die Tatsache, dass in gewissen Fällen vollständig erhaltene Fossilien an der Basis von Knauersandsteinen gefunden werden können. Als Beispiel kann der Knauersandstein am Kopf, zwischen Langnau und Adliswil, auf Kote 500 m angeführt werden, an dessen Basis vollkommen erhaltene Steinkerne der Teichmuschel *Unio* gefunden werden. Stets sind linke und rechte Schale noch beisammen. Wäre die Auskolkung der Rinne während einer gewaltigen Sandflut erfolgt, so hätten die Muscheln in diesem Milieu überhaupt nicht leben können und wären ihre Schalen in der Flut längst zerrieben worden. Dass die Sedimentation in den Knauersandsteinen und auch in den Nagelfluhen in vielen Fällen sehr ruhig und gemächlich vor sich ging, das beweisen vollständig erhaltene Heliziden im Knauersandstein an der Manegg auf Kote 540 m und die tonigen und sandigen Einschwemmungen in der Nagelfluhbank bei Redlikon (Pkt. 563,1), in denen zahlreiche bis ins feinste erhaltene Ab-

drücke von Blättern gefunden wurden. Vorkommen von Wetterkalken an der Basis von Nagelfluhen, das Auftreten von *Unio* in der Basis der Ramschwag-Nagelfluh, von Charaoogonien und Kalkalgen innerhalb von Knauersandsteinen, wie sie F. HOFMANN (1951) aus der OSM der Ostschweiz beschreibt, beweisen in gleichem Sinne das schon Vorhandensein der Stromrinne und die meist ruhige, langsam und in grossen Unterbrüchen sich vollziehende spätere Auffüllung derselben mit Sand und Kies.

4. Man beobachtet innerhalb von Knauersandsteinen gerade bei häufigem Auftreten von Knauern sekundäre Erosionserscheinungen und Wiederauffüllung dieser sekundären Rinnen. Eine Sandflut hätte die Rinne «massig», richtungslos, ausgefüllt.

5. Rinnenbildung hängt eher mit Erosionsperioden, während welchen die Flüsse den Schutt mit sich fortführten, als mit Zeiten bedeutender Schuttführung der Flüsse zusammen. Wenn schuttbeladene Flüsse in ein vollständig flaches Gebiet, wie es das Molasseland zur Zeit der Ablagerung der Molasse war, einmünden, lassen sie den Schutt liegen, verstopfen sich den Lauf fortwährend und überschwemmen flächenmässig. Die Tiefenerosion spielt im Ablagerungsgebiet keine Rolle (vgl. die Erscheinungen bei rezenten Po-Überschwemmungen).

6. Grobe Schuttführung muss nicht unbedingt allgemein gesteigerte Schüttungsintensität heissen, muss nicht unbedingt auf orogenetische Bewegungen in den Alpen schliessen lassen. Nehmen wir an, die Rinnenbildung sei in einer Erosionsperiode erfolgt. Das vorerst noch eher flächenmässig verteilte Wasser konzentriert sich immer mehr auf bestimmte Rinnen, die wegen des sehr geringen Gefälles nur wenige Meter tief sind, sich jedoch vor allem immer mehr verbreitern. Die Anreicherung des Wassers in diesen Rinnen führt zu stärkerer Strömung und damit wird eine Fortführung gröberer Materials in diesen Rinnen auch zu Zeiten mit geringer allgemeiner Schüttungsintensität möglich, während dazwischen weite Gebiete trocken liegen und der Verwitterung ausgesetzt sind.

An dieser Stelle sei auch noch auf die umstrittene Frage der Knauerbildung eingetreten. Knauer sind harte Partien innerhalb der Sandsteine, die weniger leicht verwittern als der umgebende Sandstein und darum an einer Sandsteinwand als längliche, brotlaibähnliche Knollen hervorstechen. Sie sind so typisch für eine grosse Zahl von Sandsteinen der OSM, dass man diese Sandsteine schon seit mehr als 150 Jahren als Knauersandsteine bezeichnet. Schon H. C. ESCHER gebraucht 1795 in der Beschreibung seiner Profilreise von Zürich bis an den Gotthard (Alpina II, 1807) den Ausdruck Knauer.

Knauer sind Stellen im Sandstein, wo sich der kalkige Zement besonders stark angereichert hat. Man betrachtet heute die Knauer allgemein als willkürlich angeordnete konkretionsartige Härtlinge in den Sandsteinen. Unsere Beobachtungen haben uns zu einer etwas anderen Auffassung geführt. Wären erstens die Knauer willkürlich angeordnet, so müsste man sie in allen beliebigen Stellen und Lagen im Sandstein antreffen, zum Beispiel müsste man auch senkrecht gestellte Knauer finden. Dies ist nicht der Fall. Im allgemeinen verlaufen die Knauer mit der Längserstreckung ihres Querschnittes mehr oder weniger parallel zur ganzen Sandsteinbank. H. C. ESCHER (1806), der erste und einer der sorgfältigsten Beobachter der Zürcher Molasse, hat dieselbe Feststellung gemacht, wenn er schreibt (Alpina I, 1806, S. 255): «Dahin gehören seine grünlichgraue Farbe, seine nierenartigen Verhärtungen, welche als Kerne, sich nesterweise, jedoch in schichtenartiger Ten-

denz, in denselben vorfinden und äusserst hart sind.» Auch A. MOUSSON (1840) beschreibt und zeichnet die Knauer als langgestreckte, parallel zur Schicht verlaufende harte Partien im Sandstein. Wären zweitens die Knauer wirklich rein konkretionsartige Verhärtungen, so müssten sie rundliche, eher kugelige Gebilde sein. Oft erscheinen die Knauer allerdings als kugelige Gebilde, aber nur in stark verwittertem Sandstein. Die ursprüngliche Form der Knauer lässt sich am besten an frischen, glatten, leicht feuchten Knauersandsteinwänden beobachten. An einer solchen glatten Wand – meist sind es ebene Klüftflächen, an denen die Sandsteine abbrechen – erscheinen die Stellen mit stärkerer Verkittung, somit die Stellen, wo bei weitergehender Verwitterung später die Knauer hervorragen werden, als trockene helle Flecken. In solchen Fällen lassen sich die ursprünglichen Querschnitte der Knauer sehr schön betrachten. Der Querschnitt ist stets flachelliptisch, in seinen Umrissen oben eher geradlinig, unten eher ausgebuchtet. Manchmal sind die Querschnitte seitlich spitz auslaufend, oft liegen mehrere Knauer so nebeneinander, dass man unschwer erkennt, dass sie in die gleiche Lage zusammengehören. Nebeneinanderliegende Knauer können sich zu einem einzigen harten Band vereinigen.

Warum sind die Knauer nicht willkürlich im Sandstein angeordnet? Dies ergibt sich aus dem Aufbau eines Knauersandsteins. Bei näherer Betrachtung erkennt man, dass die Knauersandsteine eine schiefe Schichtung aufweisen, die sehr fein sein kann und bei gleichmässiger Körnung oft nur schwer zu erkennen ist. Die schiefe Schichtung verläuft meistens eher flach, in ganz verschiedenen Richtungen, mit Winkeln von 5 bis 15°. Auch Deltaschichtung im kleinen lässt sich oft beobachten. Man erkennt ferner eindeutige Erosionsdiskordanzen, plötzliche Unterschiede in Körnung und Material mitten im Sandstein, alles typische Formen, wie sie fliessendes Wasser zustande bringt. Die ganze Knauersandsteinbank ist eben ein Querschnitt durch ein fossiles Flussbett. So wie wir in einem rezenten Flussbett beobachten, dass die einzelnen Wasserarme des Flusses hin und her pendeln, hier eine neue kleine Sekundärrinne schaffen, dort eine alte verlassene zuschütten oder in einer Serpentine das äussere Ufer anerochieren und so das Flussbett verbreitern, so war es der Fall bei der Entstehung der Knauersandsteine. Eine solche Sekundärrinne im Flussbett wird im allgemeinen natürlich nicht mehr mit genau demselben Material ausgefüllt, aus dem der umgebende Sand besteht. Meist ist es besonders am Grunde der Rinne etwas gröber als der umgebende Sand, in seltenen Fällen auch etwas feiner. Mergelgerölle, herrührend von der Seitenerosion des Flusses, organische Überreste oder grobes Geschiebe werden in die Sekundärrinnen eingeschwemmt und an deren Basis abgelagert. Beim Zuschütten der Rinne wird der Sand in anderer Richtung und Sortierung geschichtet als der umgebende Sand.

Es zeigt sich, dass die Knauer immer wieder, ohne Ausnahme, in ihrem Verlauf der inneren Schichtung des Sandsteins angepasst sind und in zahlreichen Fällen sogar vollständig mit solchen Sekundärrinnen zusammenfallen oder doch mit den basalen Partien von solchen. Dies ist der Grund und die Erklärung für die folgenden Beobachtungen, die man an Knauern anstellen kann:

1. Die Knauer sind ursprünglich, wie wir gesehen haben, nicht knollig, sondern besitzen im allgemeinen im Aufschluss eine Form, vergleichbar mit einem Schnitt quer durch einen flachen, sandgefüllten Kännel. Die knolligen Formen entstehen erst bei der Verwitterung, da die randlichen Partien zuerst entkalkt werden und zerfallen.
2. Sie weisen oft eine schöne Schichtung, oft Deltaschichtung auf.
3. Die Körnung des Materials im Knauer ist sehr oft etwas verschieden von der des ihn umgebenden Sandsteins. Meist ist das Material etwas gröber.
4. Das Material, und in diesem die Häufigkeit der einzelnen Komponenten, ist in vielen Fällen oft erheblich anders als im umgebenden Sandstein.
5. Die Knauer führen an ihrer Basis häufig aufgearbeitetes Material aus liegenden Schichten. Meist sind es abgerissene und abgerollte Stücke, sogenannte «Tongallen», von Mergeln der Unterlage, in die sich die ganze Rinne ursprünglich einerodierte. An der Basis von Knauern können auch vereinzelte Gerölle auftreten, als typische Wiederaufarbeitung einer zuerst abgelagerten, an der Basis des Knauersandsteins liegenden Geröllschüttung.
6. Man findet – wenn überhaupt – fossile Knochenreste, Zähne usw., eingeschwemmte

Blätter und kohlige Pflanzenreste in den Knauern besonders angereichert. Es wäre allerdings möglich, dass sie an andern Stellen im Sandstein bereits zersetzt wären.

Warum fallen die Knauer mit der inneren Schichtung oder mit den Sekundärrinnen im Sandstein zusammen? Der Grund ist wohl zur Hauptsache in der primären grösseren Porosität und in der gröberen Körnung (grössere Poren) solcher Partien, evtl. in der Materialverschiedenheit im Vergleich zum umgebenden Sandstein zu suchen. In den gröberen Partien der Knauersandsteine konnten karbonathaltige Lösungen leichter zirkulieren, zudem war die Durchlüftung eine bessere, so dass es vorzugsweise hier zur Kalkausscheidung und starker Zementation kam. Man vergleiche damit die Ausscheidung von reinem Kalzit in den Nagelfluhen (s. S. 155) oder den verschiedenen Grad der Zementation innerhalb quartärer Schotter. Die Knauerbildung ist somit erst noch mit allen Zufälligkeiten der Karbonatausscheidung verbunden. Es ist darum nicht verwunderlich, wenn man Fälle von Knauerbildung zitieren kann, wo Zusammenhänge wie die obengenannten nicht sehr klar erscheinen und eher rein konkretionsartige Erscheinungen zum Vergleich herangezogen werden können. Ich bin überzeugt, dass die Entstehung von Konkretionen in ganz ähnliche Zusammenhänge gebracht werden kann wie die Knauerbildung und sehr abhängig ist von der inneren Differenzierung des Materials. In vielen Fällen können die Differenzen im Material zwischen Sekundärrinne und umgebendem Sand gering werden oder überhaupt fehlen, so dass es nicht zur Knauerbildung kam, obwohl schon ausserordentlich feine Unterschiede eine grosse Rolle spielen können.

Wenn die Knauer wirklich ihre Entstehung den oben genannten Ursachen verdanken, so müssen sie mit der Längsachse der Sekundärrinne eine gleichlaufende Erstreckung besitzen. Dies festzustellen ist natürlich ein recht schwieriges Unterfangen, da an den Sandsteinwänden nichts über die räumliche Ausdehnung der Knauer ausgesagt werden kann. Die einzigen Stellen, wo eine diesbezügliche gute Beobachtung gemacht werden konnte, waren zwei Höhlen in Knauersandsteinen, die eine an der Falätsche Kote 690 m, die andere am neuen Üetlibergweg (Berneggweg) im Sandstein auf Kote 620 m, ebenso Fundamentausläufe im Knauersandstein am rechten Zürichseeufer, wo in horizontaler Ebene die oft mehrere Meter lange Erstreckung der Knauer im Sandstein beobachtet werden konnte. Das schönste Beispiel, wo man die langgestreckten Knauerbänder wie riesenhafte, platte Gedärme bis tief in den Sandstein hinein verfolgen kann, ist die Höhle im Knauersandstein am neuen Üetlibergweg Kote 620 m (s. Abbildung 3).

Nicht zu übersehen ist der Einfluss der Verwitterung auf die Form der Knauer. Durch Auslaugung der Karbonate im Sandstein werden alle scharfen Formen der Knauer verwischt. Besonders die ursprünglich oft spitz auslaufende seitliche Begrenzung des Knauerschlauches wird zuerst angegriffen und die schmalen randlichen Partien des Knauers mit zunehmender Verwitterung des Sandsteins immer mehr weggelöst. Erhalten bleibt schliesslich als rundlicher Knollen nur die mittlere mächtigste Partie des Knauer. Das gleiche gilt für den Knauerschlauch in seiner Längserstreckung im Innern des Sandsteins. Er wird unterteilt und die einzelnen Teile unter allmählicher Abrundung aufgelöst. So fand man 1953 beim Aushub des grossen Wasserreservoirs auf der Waid im dortigen glimmerreichen Knauersandstein, der schon lange der Verwitterung ausgesetzt war, etwa 2 m lange, schön gerundete Gebilde. Sie wurden zuerst als Säulen eines alten Tempels gedeutet, waren aber nichts anderes als stark verwitterte Knauer. Heute sind sie in der Anlage auf der Waid ausgestellt.

Entstanden die Knauer während der Diagenese des Sandsteins oder erst viel später, in der geologischen Gegenwart? Die Frage ist recht schwierig zu beantworten. Einerseits könnten Beobachtungen über die Verkittung quartärer Schotter an sich für eine späte Entstehung der Knauer und überhaupt Verfestigung der Sandsteine sprechen, doch sind die Verhältnisse bei den Molassesandsteinen sicher anders als bei quartären Schottern. Soviel mir bekannt ist, wurde in Molassesteinbrüchen, bei Stollen- oder Tunnelbauten in der Molasse nie die Beobachtung gemacht, dass die Sandsteine oder Molassenagelfluhen gegen das Berginnere hin weich werden, d. h. nicht oder viel schwächer verkittet sind, wie das bei quartären Schottern bekannt ist. Auch ist die Knauerbildung viel eher zu vergleichen mit der Anreicherung von Kalzit an bestimmten Stellen der tertiären Nagelfluhen, welche mit



Abb.3 Knauer in Knauersandstein am Berneggweg auf Kote 620 m. Die Knauer liegen schichtmässig im Sandstein.

Sicherheit schon vor langer Zeit erfolgt ist (s. S. 155). Dass die Knauersandsteine und Nagelfluhen schon lange diagenetisch verfestigt waren, zum mindesten schon vor der Aufschichtung der subalpinen Molasse, das beweist ihre ausgesprochene morphologische Empfindlichkeit, besonders bei der Gletschererosion und bei der Ausbildung des Gefällsprofils der Tobel, welche nicht vorhanden wäre, wenn sie im Berginnern nicht verkittet wären. Es ist daher kaum anzunehmen, dass die Knauerbildung unabhängig und viel später nach der Diagenese erfolgt sei.

Die Knauersandsteine verhalten sich in Bezug auf den Ausbildungszustand der Knauer sehr verschieden. Es gibt Niveaus, die sich durch prachtvolle Knauer auszeichnen, so die Knauersandsteine, die stratigraphisch 25, 45 und 65 m über dem «limnischen Leitniveau» (s. S. 256) liegen. Sie zeigen saubere graue Farbe. Andere Niveaus, welche auch sonst Anzeichen schon primärer, d. h. fossiler Verwitterung zeigen, wie z. B. durchziehend gelbe und bräunliche Färbung, rostige Fleckung, zeigen auch schlecht ausgebildete Knauer. Diese Beobachtungen würden somit auch für die Möglichkeit primärer, d. h. bald nach der Ablagerung erfolgter Verwitterung von Knauersandsteinen oder für einen schon primär fehlenden Karbonatgehalt sprechen, der z. T. wenigstens auf längere und stärkere Verwitterung zurückgeführt werden könnte. Durchgehend «schlecht» erhaltene Knauer, wie sie häufig in der OSM im NW Kanton Zürich gefunden werden, wie über-

haupt der fast durchgehend geringe, manchmal vollständig fehlende Karbonatgehalt jener Sandsteine, ist ebenfalls ein Anzeichen einer sehr alten, starken Verwitterung jener Molassegesteine überhaupt. Der schon primär fehlende Karbonatgehalt jener Molasse (vgl. S. 292) drückt sich auch deutlich im Dichteunterschied im Vergleich zu den alpennäher gelegenen Molasseserien aus. Eingehende Dichtebestimmungen des Institutes für Geophysik der E.T.H. ergaben am Dettenbergtunnel eine Molassedichte von 2,4, und auch P. GRETENER (1954) rechnet in seiner Arbeit mit einer Molassedichte von 2,4. Im Zimmerberg-Albisgebiet dagegen beträgt nach den Untersuchungen am Institut für Geophysik die Molassedichte 2,65³⁾. Ähnliche Überlegungen könnten für die aquitanen Sandsteine und Mergelserien angestellt werden.

Noch in anderer Hinsicht ist die Knauerbildung in den Sandsteinen von Bedeutung. Die Häufigkeit des Auftretens von Knauern in einem Sandstein ist von der Häufigkeit der Sekundärrinnenbildung und von der Häufigkeit des Wechsels der Schichtung im betreffenden Sandstein abhängig. Häufige Rinnenbildung, häufiger Wechsel der schiefen Schichtung sind Anzeichen eines häufigen Pendelns der einzelnen Flussarme, mit andern Worten Anzeichen eines ruhigen Sedimentationsverlaufes im Flussbett zu Zeiten geringer Schüttungsintensität⁴⁾. Verschwinden der Sekundärrinnenbildung und damit Verschwinden der Knauerbildung deuten andererseits auf intensivierete Sedimentation im Flussbett, somit auf gesteigerte Schüttungsintensität aus dem alpinen Hinterland. Tatsächlich lässt sich ein eher häufigeres Auftreten der Knauer an der Basis und an den mittleren Partien der Knauersandsteine feststellen. Mit beginnender Schlammsandschüttung hört die Knauerbildung auf (stark verminderte Porosität). Knauerreiche Sandsteine deuten auf Perioden geringer Schüttungsintensität hin. Fehlen von Knauern in Sandsteinen ist ein Hinweis darauf, dass die ganze Sandmasse sozusagen in einem Guss geschüttet wurde, und lässt auf verstärkte Schüttungsintensität schliessen.

c) Die Glimmersandsteine

Sie treten mengenmässig in der Zürcher Molasse gegenüber den eigentlichen Knauersandsteinen stark zurück. Doch bilden sie eine bedeutsame Gesteinsgruppe für sich. Es handelt sich um gut geschlämmte, karbonatarmer und darum «weiche» Quarzsandsteine bis Quarzsande. Sie zeigen einen relativ hohen Schweremineralegehalt. Unter den Schweremineralien ist der Granat weitaus am häufigsten. Kalk- und Dolomitkörner und ebenso

³⁾ Die Dichtewerte für die Zimmerberg-Albis-Molasse wurden im Institut für Geophysik der E.T.H. im Gefolge der gravimetrischen Vermessung jener Gebiete an zahlreichen Proben in einem besonders entwickelten Verfahren bestimmt. Die gravimetrischen Vermessungen im Albis- und Zimmerbergtunnel ergaben vollständig übereinstimmende Werte für die Molassedichte. Ich möchte auch an dieser Stelle für die Überlassung dieser Werte Herrn Prof. Dr. F. GASSMANN herzlich danken.

⁴⁾ Starke Schüttungsintensität: Flüsse mit Geschiebe und schwebendem Material stark befrachtet. Rasche Sedimentation, wo das Gefälle zu gering wird oder ganz fehlt.

ophiolithisches Material sind selten, ein wichtiger Unterschied zu den gewöhnlichen Knauersandsteinen (vgl. S. 141). Die Glimmersande und Glimmersandsteine sind ausserordentlich reich an Muskowit, ein auffälliges Merkmal, das dem kartierenden Geologen sehr willkommen ist. Neben dem Muskowit kann stellenweise auch der Biotit häufig auftreten (Glimmersandstein Käshalde bei Seebach). Die Farbe der Glimmersandsteine ist hellgrau bis leicht grünlich infolge des grossen Glimmergehaltes. Die eigentlichen Glimmersandsteine können mehrere Meter mächtig werden. Sie sind massig und meist intensiv kreuzgeschichtet. Wegen des fehlenden Kalkgehaltes kommt es im allgemeinen nur beschränkt zu Knauerbildung (Glimmersandstein-Horizont von Türlen, Glimmersandstein-Horizont von Langnau, Glimmerzone der Manegg (s. S. 193), in gewissen Fällen aber können sie prachtvolle Knauer aufweisen (Käshalde bei Seebach). Neben dieser typisch massigen Ausbildung finden wir in der Zürcher Molasse, insbesondere im Hangenden des limnischen Leitniveaus, gebankte Glimmersandsteine, die eine stärkere Verkittung aufweisen. Sie zeigen häufige Rippelmarken und Wurmsspuren. Der Abstand der Rippeln — es handelt sich stets um Wellenrippeln — variiert zwischen 2—6 cm.

Die Glimmersandsteine treten zusammen mit Glimmermergeln in verschiedenen, weit ausgedehnten Horizonten in der Zürcher Molasse auf und sind deshalb als Leithorizonte von Bedeutung (s. S. 255). Für den Glimmersandstein-Horizont im Hangenden des limnischen Leitniveaus ist eine durchziehende Ausdehnung von über 600 km² sichergestellt. Die Ausbildung der Glimmersandsteine, das häufige Auftreten von Rippelmarken und ihre flächenhafte Ausdehnung bestätigen uns, dass es sich dabei nicht um eigentliche Flussablagerungen, sondern um Strandbildungen an weit ausgedehnten, sehr flachen Seen handelt. E. GEIGER (1943) kommt bei seinen Untersuchungen an Glimmersanden des thurgauischen Seerückens zu ganz ähnlichen Resultaten. Die Glimmersande der Türlenzone z. B. sind nichts anderes als eine limnische Bildung über der weit ausgedehnten Ophiolith-Sandsteinzone vom Sihlzopf. Die Glimmersandsteine direkt über dem limnischen Leitniveau sind ihrerseits nichts anderes als eine Fortführung des limnischen Regimes.

Die Glimmersande und Glimmersandsteine der Zürcher Molasse stimmen petrographisch so vollkommen mit jenen des Bodensee-Hegaubgebietes überein (E. GEIGER, 1943; F. HOFMANN, 1955a, 1955b), dass sie unbedingt in Zusammenhang miteinander gebracht werden müssen, auch wenn sie längst nicht jene bedeutende Rolle am Aufbau der Zürcher Molasse spielen wie zum Beispiel am Seerücken. Einzig ihre Verkittung und damit ihr Karbonatgehalt dürfte im Durchschnitt in der Zürcher Molasse eher etwas grösser sein. E. GEIGER (1943), die süddeutschen Autoren, insbesondere aber F. HOFMANN (1951, 1955a, 1955b), haben die Glimmersandsteine sowohl in geographischer Hinsicht (Glimmersandrinne N einer Linie Lägern-Konstanz), als auch in stratigraphischer Hinsicht (Steinbalmensandstufe) zu beschränken versucht. Durch unsere Untersuchungen konnte aber eindeutig nachgewiesen werden, dass einerseits die Glimmersandsteine auch in der Zürcher Molasse, also viel weiter im S der postulierten Glimmersandrinne, in weiter

Verbreitung vorkommen. Andererseits zeigt es sich, dass die Glimmersandsteine stratigraphisch in allen Stufen der OSM auftreten, direkt über dem Niveau des «Appenzeller Granites» (Käshalde bei Seebach), wie auch in den allerhöchsten Schichten der Zürcher Molasse (Üetliberggipfel).

Es ist unseres Erachtens nicht unbedingt notwendig, die Glimmersande einzig auf Materialzufuhren durch die E-W-Schüttung (s. K. LEMCKE u. a., 1953) zurückzuführen. Die petrographische Zusammensetzung der Glimmersande kann sehr wohl auf einer weitgehenden Auslese und Aufarbeitung des alpinen Geschiebematerials beruhen. Tatsächlich handelt es sich, wie wir nachweisen konnten (s. S. 255), bei den Glimmersanden um eigentliche Kondensationshorizonte an flächenmässig weit ausgedehnten Gewässern, die unzählige Male aufgearbeitet und wieder abgelagert wurden. Die Karbonatkomponenten und die Ophiolithkörner wurden eliminiert, die sehr transportresistenten Granate aber angereichert. Dass die Bedingungen für die Entstehung der Glimmersande vor allem in den äusseren Randzonen des Hörnlischuttfächers erfüllt waren, und dass daher die Glimmersandsteine hier besonders gehäuft auftreten, ist ohne weiteres verständlich.

d) Feinkörnige Sandsteine

Diese Gruppe umfasst sehr feinkörnige (Korndurchmesser im allgemeinen $< 0,1$ mm, s. S. 141), hellgraue, dichte, zähe, relativ kalkige Sandsteine. In vielen Fällen sind sie gelb- oder buntgefleckt, was auf einen gewissen Tongehalt hinweist. Diese Sandsteine bilden geringmächtige Bänkchen von vielfach nur wenigen Zentimetern Dicke und erreichen nie mehr als einen Meter Mächtigkeit. Sie treten als harte Einlagerungen innerhalb feingeschichteter Mergelserien auf. Sie sind meist selber feingeschichtet, im allgemeinen glimmerreich und dann von graugrünllicher Farbe. Häufig weisen sie Rippelmarken und Wurmspuren auf. Wie die feingeschichteten Mergel wurden sie als gelegentliche sandige Einschwemmungen in ruhigen oder stehenden Gewässern abgelagert und gehören mit diesen zur gleichen postinundativen limnischen Fazies. Ihre Ausdehnung ist stets lokal beschränkt. Die feinkörnigen Sandsteine lassen sich in keine der drei genannten Hauptgruppen von Molassesandsteinen eingliedern. Zudem ist ihr Auftreten und ihre Ausbildung so typisch, dass sie hier als eine weitere Gruppe, von allerdings untergeordneter Bedeutung, ausgetrennt wurde.

e) Milchweisse, grobe Quarzsandsteine

Sie treten in typischer Ausbildung selten auf. Dazu gehören die Vorkommen in der Ophiolith-Nagelfluh an der Basis des Pfannenstieles und, in ganz besonders typischer Ausbildung, der Sandsteinhorizont in der Schifflizone S Dorf Sihlbrugg über der dortigen mächtigen Nagelfluhbank (wahrscheinlich identische Horizonte). Es handelt sich um auffällige, weisslichgraue Quarzsand-

steine. Die groben Quarzkörner (s. S. 141) besitzen z. T. eine milchweisse Farbe, welche bedingt ist durch ihre matte Oberfläche. Neben den Quarzkörnern finden sich vereinzelt auch Körner von rotem Hornstein und von Ophiolithen.

f) «Radiolaritsandsteine»

Es sind Sandsteine vom Typus der Knauersandsteine. Sie fallen durch ihre rötlich-bräunliche Farbe auf, die bedingt ist durch einen bemerkenswert hohen Gehalt an Radiolarittrümmern. Radiolaritkörner sind, wie das ophiolithische Material, in der Zürcher Molasse weitverbreitet. In den Radiolaritsandsteinen kann der Gehalt an rotem Hornstein 5—10 % ausmachen. Radiolaritreiche Sandsteine finden wir im Bereich der Baldernschüttung. Der auffälligste Horizont aber liegt an der Basis der Üetliberg-Schichten. Es ist der bis 5 m mächtige Knauersandstein, der etwa 10 m unter der Üetliberg-Nagelfluh liegt: Üetliberg-W-Hang Kote 760 m, Burgweid zwischen Baldern und Felsenegg Kote 805 m.

3. Die Konglomerate (Nagelfluhen)

Anteile der Nagelfluhen an verschiedenen Molasseprofilen der Zürcher Molasse

Üetliberggebiet:	
Üetliberggipfel (Üetliberg-Schichten)	11 %
Üetlibergbasis	0—0,2 %
Albisgebiet:	
Mittlerer Albis (Felsenegg-Albispass)	2,5—6,5 %
Bürglen-Albishorn	7—14 %
Sihltal:	
Zürich-Sihlbrugg	0—2 %
Linke Seite des Zürichseetales:	
Zürich-Horgen	—
Gebiet ob Wädenswil	8—13 %
Rechte Seite des Zürichseetales:	
Wehrenbachtobel-Stöckentobel	—
Küsnachter Tobel	0—2 %
Meilener Tobel	—
Tobel bei Stäfa-Uerikon-Feldbach	20—45 %
Glattalschwelle:	20—50 %
Hörnligebiet nach H. TANNER (1944):	95 %
Gehänge gegen das Glattal:	
Egg-Aesch-Greifensee	2—7 %
Pfannenstiel:	30—35 %
Raggentobel (Pfannenstielbasis)	39 %
Zürichberg-Sagentobel:	—

Die Molassenagelfluhen zählen im Gebiet um Zürich zu den eher seltenen Gesteinen. Im Bereich der Glattalschwelle, am obern Zürichsee zwischen Männedorf und Feldbach, am Pfannenstiel, am Wassberg, ferner am linken Seeufer ob Wädenswil, sind Nagelfluhen immerhin häufig anzutreffen. Im übrigen Gebiet handelt es sich nur um gelegentliche, aber sehr willkommene Ausläufer und Geröllstränge, die vom mächtigen Hörnlischuttfächer in verschiedenen Vorstössen ausgestrahlt sind. Solche Ausläufer sind:

1. Albis-Üetliberg

Einzelvorstöße über dem «limnischen Leitniveau»:

- Baarburg-Nagelfluh (J. SPECK, 1953)
- Nagelfluh im Schiffli S Dorf Sihlbrugg (s. S. 213)
- Geröllführender Knauersandstein der Sihlhalde (s. S. 212)
- Die Nagelfluhen Bürglen-Albishorn
- Renggerberg-Nagelfluh
- Ophiolith-Nagelfluh vom Albispass
- Ophiolithreiche Nagelfluh Kniebreche Albispass (s. S. 199)
- Nagelfluh im Habersaat (s. S. 199)
- Hermen-Nagelfluh (s. S. 198)
- Nagelfluh an der Burgweid zwischen Felsenegg und Baldern
- Üetliberg-Nagelfluh von der Falätsche bis zum Üetliberg
- Untere und obere Üetlibergkulm-Nagelfluh Kote 835 und 840 m
- Nagelfluh der Höcklereggzone Kote 640 m
- Geröllführender Sandstein am Hohenstein Kote 640 m

Einzelvorstöße unter dem «limnischen Leitniveau»:

- Ophiolith-Nagelfluh vom Sihlzopf (Klemmeriboden-Hebeisenbach)
- Hüllisteiner Nagelfluh bei Station Sihlbrugg
- Geröllführender Sandstein Emmet ob Albisrieden Kote 490 m

2. Pfannenstiel-Zürichberg

Einzelvorstöße über dem «limnischen Leitniveau»:

- Die Nagelfluhplatte Wassberg-Sennholz-Oetlisberg, zu der auch die vereinzelt Vor-
kommen S Oetlisberg bei Pkt. 651 und bei Oberhub S Sennholz Pkt. 659,8 Kote 655 m
gehören
- Loorenkopf-Nagelfluh
- Die Nagelfluh im Künsbacher Tobel Kote 590 m-Ifang-Blüemlisalp ob Erlenbach
- Nagelfluh im Ursprungtobel Kote 540 m
- Nagelfluh am nördlichen Ottlisberg Kote 615 m (s. S. 220)

Einzelvorstöße unter dem «limnischen Leitniveau»:

- Nagelfluh-Knauersandstein im Herrliberger Tobel Kote 505—510 m
- Nagelfluh bei Fluh-Maur am Greifensee
- Ophiolith-Nagelfluh von Uetikon (s. S. 162, 227)

Aus dieser Zusammenstellung ergibt sich abermals die auffällige und sehr bemerkenswerte, seit langem bekannte Tatsache, dass die Nagelfluhschüttungen in den höchsten Schichten der Zürcher Molasse am weitesten nach N vorgreifen.

Die Nagelfluhen treten auch in unserm Gebiet wie anderswo in der Molasse, entweder rinnenförmig oder als weitausgedehnte, flächenhafte Schüttungen, stets mit scharfer Trennfläche gegen die liegenden Schichten und meist allmählichen Übergängen in die hangenden Schichten auf. Genetisch sind sie etwas Ähnliches wie die Knauersandsteine, d. h. typisch fluviatile Ablagerungen mit dem einzigen Unterschied, dass nun das Material viel gröber ist. Vertikale Übergänge von Nagelfluh in Knauersandstein innerhalb derselben Bank können häufig beobachtet werden; aber auch in horizontaler Richtung sind Übergänge von Nagelfluh in Knauersandstein, Ersetzung der Nagelfluh durch Knauersandstein mit zunehmender Entfernung vom Schüttungszentrum eine

normale Erscheinung. Sekundärrinnenbildung kann ebenfalls sehr häufig beobachtet werden. Ein prachtvolles Beispiel dieser Art ist die Nagelfluh an der Burgweid unter der Burgruine Baldern zwischen Felsenegg und Baldern.

Die Grösse der Nagelfluhgerölle liegt im allgemeinen zwischen Faust- und Erbsengrösse. Das grösste Geröll, ein Flyschsandkalk mit einem grössten Durchmesser von 24 cm, wurde am Pfannenstiel im Tobel am Schufelberg in der mächtigen Nagelfluhbank auf Kote 740 m gefunden. Es ist das dieselbe Nagelfluh, die im Gebiet des Raggentobels auf Kote 730 m auf über 20 m Mächtigkeit anschwillt und auch auf der W-Seite des Pfannenstiels sehr grosse Gerölle führt. Gerölle bis über 20 cm Durchmesser findet man in der Nagelfluh bei Kohlgrub Pkt. 775 zwischen Forch und Hinter Guldenen. Im Gebiet der Glattalschwelle liegt 10 m unter dem Wetterkalk von Hombrechtikon eine stellenweise gegen 15 m mächtige Nagelfluhbank mit grossen Geröllen, vor allem in den oberen Partien. Im Klauustobel fand ich ein Geröll von 18 cm Durchmesser, beim grossen Wasserfall unterhalb Bad Kämmoos W Rüti in derselben Nagelfluh ein Geröll von 22 cm Durchmesser, beides Flyschgerölle⁵⁾. Recht erstaunlich ist die Tatsache, dass die grössten Gerölle nicht am weitesten im E, im Gebiet der Glattalschwelle auftreten, sondern am Pfannenstiel und am Üetliberg. Das hat schon R. STAUB (1934a) dazu geführt, für die Pfannenstiel-Nagelfluh eine eigene, wenn auch nur sekundäre Schüttung anzunehmen.

Typisch für die Molassenagelfluhen ist bekanntlich das Auftreten von Geröllen mit «Eindrücken». Fast in jedem Aufschluss von Molassenagelfluh können solche Gerölle gefunden werden. Es sind vor allem Dolomit- und Kalkgerölle, die schöne Eindrücke, scharf geschnittene, grubenartige Vertiefungen in der glatten Gerölloberfläche aufweisen. In Quarziten und Hornsteinen werden solche nicht gefunden. Sie zeigen allerdings oft auch Zerdrückungserscheinungen an bestimmten Stellen ihrer Oberfläche. Gerölle mit Eindrücken treten aber nicht gleichmässig verteilt in den Nagelfluhen auf, sondern sie sind beschränkt auf bestimmte Stellen im Gestein, wo das sandige Bindemittel fehlt oder nur spärlich vorhanden ist. An Stelle des sonst in den Nagelfluhen allgemein verbreiteten sandigen Bindemittels besteht hier das Bindemittel aus grobkristallinem, durchsichtigem Kalzit. Dort, wo die Gerölle allseitig von Sand umgeben waren, verteilte sich der Druck der darüberliegenden Schichten gleichmässig auf die ganze Gerölloberfläche. Nicht so an den Stellen, wo das sandige Bindemittel fehlte. Dort übertrug sich der Druck an den Berührungspunkten der verschiedenen Gerölle untereinander. An diesen Berührungspunkten wurde die Gerölloberfläche leicht zerstört; meist, aber nicht immer, wurde das Geröll mit dem kleineren Krümmungsradius in die Oberfläche des benachbarten Gerölles «eingedrückt». An den Stellen, wo die Oberfläche eines Gerölles leicht zertrümmert war, konnte zirkulierendes Wasser — und es zirkulierte eben um so leichter dort, wo das sandige Bindemittel fehlte — Karbonate auflösen und wegführen. Wohl wegen der besseren Durchlüftung wurde das gelöste Karbonat in den Hohlräumen zwischen den Geröllen wieder ausgeschieden. Waren die Karbonate entfernt, so konnte sich das Geröll weiter eindrücken und so wiederholte sich der Vorgang bis die zunehmende Kalzitausscheidung die Zirkulation von Wasser verhinderte. Dass bei der Entstehung der Eindrücke wirklich Lösungsvorgänge eine Rolle spielten (vgl. auch ALBERT HEIM, J. FRÜH, A. LUDWIG u. a.), das beweist auch das Tonhäutchen, das als unlöslicher Rückstand in vielen Fällen die Vertiefungen in der Geröllober-

⁵⁾ In der Kiesgrube ob der Fohlenweid (N Falätsche) auf Kote 780 m, welche in der Üetliberg-Nagelfluh angelegt ist, fand sich ein verkieselter, feinkörniger Flyschsandstein von knapp 24 cm Durchmesser.

fläche auskleidet. Es ist im übrigen durchaus angebracht, die Kalzitausscheidung in den gut durchlässigen Partien der Nagelfluh mit den Kalkausscheidungen in den Knauersandsteinen, welche die Ursache für die Knauerbildung sind, auch altersmässig miteinander zu vergleichen.

Die Art der Geröllzusammensetzung der Nagelfluhen ist selbstverständlich von grosser Bedeutung, erlaubt in erster Linie doch nur sie Rückschlüsse über die petrographische Zusammensetzung des Einzugsgebietes der Molasseflüsse und damit über ihre Herkunft zu ziehen. Eine Geröllzählung richtig durchzuführen, d. h. ohne unverhältnismässig viel Zeitaufwand ein möglichst genaues Bild über den quantitativen oder zahlenmässigen, prozentualen Anteil der einzelnen Gesteinsarten am Aufbau der Nagelfluhen zu erhalten, ist ein recht schwieriges Problem, auf das wir hier nicht näher eingehen wollen, nachdem es schon öfters eingehend diskutiert wurde (J. FRÜH, 1888; TH. ZINGG, 1934, 1935; H. RENZ, 1937; H. TANNER, 1944; R. TRÜMPY und A. BERSIER, 1954).

Man unterscheidet in den Nagelfluhen die Eruptivgesteine: Granite, Quarzporphyre, Syenite, Porphyre, Diorite und die Gruppe der Ophiolithe. Die Ophiolithe umfassen zur Hauptsache dichte, grüne, auch weinrot gefleckte, basische Eruptiva («Spilite»), Gabbros, Diabase, Diabasporphyrite und Diabasbrekzien. Die Eruptivgesteine, die metamorphen Gesteine (Gneis, Glimmerschiefer und Amphipolite) und die Gangquarze werden unter einer Gruppe, als «Kristallin» der Nagelfluh, zusammengefasst. Unter den Sedimenten, die in den Nagelfluhen der Zürcher Molasse weit überwiegen, finden sich folgende Gesteine, die sich meist schon makroskopisch erkennen lassen (in der Reihenfolge des mutmasslichen Alters): Marmore, Quarzite, Buntsandsteine, dunkle, dichte Kalke (Arlbergkalke), Dolomite, Dolomitbrekzien, Rhätlumachellen, Spatkalke (Lias), Echinodermenbrekzien (Lias), rötliche Kalke, Fleckenkalke (Lias), dunkle Hornsteine (Lias), Radiolarite (Dogger-Malm), helle, dichte Kalke, oolithische Kalke, tristelähnliche Kalke, Flyschsandsteine, Flyschsandkalke, Flyschmergelkalke, Ölquarzite und sehr vereinzelte Flyschkonglomerate und Nummulitenkalke.

Nagelfluhen, die mehr als 10 % kristalline Gerölle aufweisen, werden nach einem Vorschlag von P. NIGGLI als bunte Nagelfluhen bezeichnet (H. H. RENZ, 1937). Es hätte zu weit geführt, wenn wir den Geröllbestand jeder Nagelfluh bis in alle Einzelheiten hätten untersuchen wollen. Es war uns in erster Linie wichtig, die Art der Nagelfluh, d. h. ob es sich um eine kristallinarme, eine bunte, eine Kalknagelfluh, eine Kalk-Dolomit-Nagelfluh oder um eine Ophiolith-Nagelfluh handelte, zu bestimmen. Dies vor allem auch wegen der tektonischen Rolle bestimmter Nagelfluhen als Leithorizonte.

Da das Material in einer Nagelfluhbank keineswegs homogen gemischt ist, sondern innerhalb derselben durch Sekundärrinnenbildung beträchtliche Differenzen in der Materialführung auftreten können, sowohl in Bezug auf die Geröllgrössen wie auch in Bezug auf die Gesteinszusammensetzung der Gerölle, ist es möglich, dass eine Geröllzählung an einer bestimmten Stelle der Nagelfluh, auch wenn sie eine grosse Zahl von Geröllen umfasst, im Vergleich zur wirklichen Geröllverteilung ein recht abweichendes Bild von der Art der Gesteinszusammensetzung entwirft. Im allgemeinen werden etwa 200 bis 300 Gerölle gezählt. Es versteht sich von selbst, dass nur mehrere solche Zählungen ein der wirklichen Geröllverteilung nahekommen-

des Resultat ergeben werden. Uns lag es, wie schon erwähnt, in erster Linie daran, die Art der Nagelfluh zu bestimmen. Es wurden dabei im allgemeinen vier Gesteinsgruppen auseinandergehalten, die uns für unsere besonderen Zwecke geeignet schienen, und deren prozentualer Anteil an der Zahl der gezählten Gerölle bestimmt: 1. Die Ophiolithe, 2. das restliche Kristallin, 3. die Radiolarite, 4. die übrigen Sedimente. Die Beschränkung auf nur vier Gruppen erlaubte es, die Zahl der zu zählenden Gerölle herabzusetzen. Andererseits wurden, um Fehler im oben genannten Sinne möglichst zu vermeiden, mehrere Zählungen an verschiedenen Stellen der Nagelfluh durchgeführt und am Schluss das Mittel für jede der ausgeschiedenen Gruppen berechnet. Durchschnittlich wurden für einen Nagelfluhaufschluss fünf Zählungen zu je fünfzig Geröllen ausgeführt. Es wurde darauf geachtet, die Zählungen möglichst an Stellen mit gleichmässiger Geröllgrösse durchzuführen. Die meisten Zählungen wurden zu Hause an Handstücken ausgeführt. Die Tatsache, dass die einzelnen Zählungen fast in allen Fällen Abweichungen von nur wenigen Prozenten aufwiesen, die zudem meist auf natürliche Schwankungen in der Zusammensetzung der Nagelfluh zurückzuführen sind, ist uns ein Beweis dafür, dass, bei einer Unterscheidung von nur vier Komponentengruppen, eine Anzahl von fünfzig Geröllen durchaus den gestellten Ansprüchen entsprach.

Weitaus die meisten Gerölle, die wir in einem Nagelfluhaufschluss finden, sind atypisch, d. h. sie verraten uns nichts sicheres über ihre genauere Herkunft. Nach Möglichkeit wurde daher nach sogenannten « Leitgeröllen » gesucht, das sind Gerölle, die uns erlauben, mit einiger Sicherheit genauere Angaben über ihre stratigraphische und tektonische Herkunft zu machen. Nach den Untersuchungen von J. FRÜH (1888), G. ESCHER-HESS (1903), R. STAUB (1916, 1934a), J. CADISCH (1923, 1930), W. LEUPOLD u. a. (1943), H. TANNER (1944), J. SPECK (1953) und eigenen Vergleichen, besitzen folgende Gesteine in den Nagelfluhen der OSM einen gewissen Leitwert:

Gesteine:	Wahrscheinliche Herkunft:
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 Dolomitm brekzien	Ostalpiner Hauptdolomit
Rhätlumachellenbrekzie	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 Kreideflysches

Gesteine:

Polygene Flyschbrekzie,
 Flyschsandsteine, Flyschsand-
 kalke, Flyschmergelkalke,
 Flyschkalke
 Gelbbraun verwitternde
 Nummulitenkalke

Wahrscheinliche Herkunft:

Glarner Flysch, Wäggitaler Flysch
 Einsiedler Nummulitenkalkriffe, Südhelvetischer Flysch,
 aber auch ähnlich südalpinem Eozän

Für weitere Details über die verschiedenen Geröllarten der Nagelfluhen der OSM im allgemeinen und deren Beziehung zur alpinen Stratigraphie und Tektonik sei auf die vorstehend genannten Arbeiten verwiesen. Wie schon aus der blossen Betrachtung der oben stehenden Liste der Leitgerölle der Zürcher Molasse deutlich hervorgeht, lagen die Einzugsgebiete der Molasseflüsse unserer Region, vor allem in den hochpenninischen, unter-, mittel- und oberostalpinen Deckengebieten der Alpen. Zur Zeit der Ablagerung der höchsten Schichten der Zürcher Molasse (Üetliberg-Schichten), gelangten aber bereits auch helvetische Gesteine zum Abtrag, wie auch aus den Untersuchungen von H. TANNER (1944) im Hörnli-gebiet hervorgeht.

Bei den Nagelfluhen der Zürcher Molasse handelt es sich in der Mehrzahl um kristallinführende Kalk-Dolomit-Nagelfluhen, deren Gehalt an kristallinen Komponenten zwischen zwei bis sechs Prozent schwankt. Es gibt nun aber gewisse Nagelfluhen, die in ihrer petrographischen Zusammensetzung sehr auffällig von den gewöhnlichen Nagelfluhen abweichen, und dadurch als *Leithorizonte* eine ganz besondere Bedeutung erlangen.

a) Die Hüllisteiner Nagelfluh («Appenzeller Granit»)

Diese Bildung ist in der OSM bisher bekannt gewesen von Abtwil bei St. Gallen über Schachen-Degersheim-Goldingen bis in unser Untersuchungsgebiet hinein. Als letztes restliches Vorkommen galt bis vor kurzem die bekannte Kalknagelfluh von Feldbach. In dieser Ausdehnung wurde dieses Niveau schon 1862 durch A. ESCHER VON DER LINTH und A. MOUSSON beschrieben, welche Autoren dafür die Bezeichnung «Nagelfluh von Hüllenstein» gebrauchen. Der Name stammt vom bekannten Hüllistein bei Feldbach, wo die Nagelfluh 5 m Mächtigkeit erreicht. Die Hüllisteiner Nagelfluh reicht aber auch noch weiter nach W und N. Sie besitzt in unserem Untersuchungsgebiet Mächtigkeiten von über 4 m im Gebiet von Esslingen und von 30 cm im Sihltal bei Station Sihlbrugg. In typischer Ausbildung handelt es sich, was die Aufschlüsse in unserem Gebiet betrifft, um eine kristallarme, feinkörnige Kalk-Dolomit-Nagelfluh, in der dunkelgraue bis schwarze, z. T. dolomitische Kalke und Dolomite sehr stark überwiegen und dem Gestein die charakteristische dunkle bis schwarze Färbung verleihen. Immer findet man daneben auch helle, graugelbliche, grobkörnige Dolomite und dolomitische Kalke. Die Kalk- und Dolomitkomponenten zeigen unvollkommene Rundung, sind aber in unserem Gebiet stets kantengerundet und glänzend poliert. Ihr grösster Durchmesser

misst im allgemeinen weniger als 2 cm, im Mittel meist nur wenige Millimeter, doch können gelegentlich auch Gerölle mit über 9 cm Durchmesser gefunden werden. Als Füllmaterial findet man vorwiegend dunklen Kalksand und sehr feinen Quarzsand. Das Ganze ist durch einen reinen, weissen und kompakten Karbonatzement zu einem sehr zähen, widerstandsfähigen, dichten Gestein verkittet — daher der volkstümliche Name «Appenzeller Granit» — zu einem einzigen Block verschweisst, so das Vorkommen von Hüllisteiner Nagelfluh bei der Linde ob Uetikon Pkt. 483,6. Beim Zerschlagen geht der Bruch glatt durch die Komponenten wie bei vielen subalpinen Nagelfluhen. Bei gewöhnlichen Molassenagelfluhen zieht der Bruch im allgemeinen entlang den Gerölloberflächen. Die Hüllisteiner Nagelfluh ist so karbonatreich, dass sie wie die besten Kalke, früher zum Brennen von Kalk verwendet wurde (A. ESCHER VON DER LINTH, 1844). Ihre ausgezeichnete Härte und ihr im Anschliff sehr dekoratives Aussehen wurden schon seit langer Zeit geschätzt. Zeugnis dafür sind die zahlreichen Brüche entlang ihrer Ausbisslinie zwischen Abtwil und Feldbach und im Gebiet von Grüningen, in denen sie als geschätzter «Strassenschotter» oder auch als Baustein für Stützmauern ausgebeutet wurde und z. T. noch wird. Sie wurde früher auch zu Brunnenrögen, Treppenstufen und Säulen verarbeitet. Daher die zahlreichen alten Bezeichnungen, wie «Appenzeller Granit», Feldbacher-, Hüllisteiner-, Degersheimer- und Abtwiler-Kalknagelfluh. In typischer Ausbildung ist die Hüllisteiner Nagelfluh, wie erwähnt, sehr kristallinarm. Ihr Kristallingehalt liegt meist weit unter 1 %. Unter den gelegentlich vorkommenden kristallinen Komponenten fallen rote Granite und Ophiolith-Gerölle auf. Am Hüllistein zeigen gewisse Lagen 6—8 % kristalline Gerölle.

Beim Ausbau der Kantonsstrasse zwischen Feldbach und Rapperswil und auch an den übrigen Fundstellen dieser Strasse konnten an sich gewisse natürliche Übergänge von feingerölliger Nagelfluh zu grauem Kalk-Dolomit-Sandstein, der aus demselben Material wie die Nagelfluh besteht, prachtvoll beobachtet werden. Man hatte dabei unbedingt den Eindruck, dass die Ablagerung der unteren und mittleren Partien der Nagelfluh und des Sandsteines rasch, ohne grössere Unterbrechung durch Herausbildung von Sekundärrinnen erfolgte. Dies gilt nicht für die oberen feinen hellgrauen Sandsteinpartien des Niveaus (Meilener Sandstein), die überall im Untersuchungsgebiet auftreten und die noch auf viel weitere Erstreckungen durchziehen als die Hüllisteiner Nagelfluh selbst. Der «Meilener Sandstein» (s. S. 226) zeigt überall feinste Schichtung und flache Wellenrippeln, wie sie in so regelmässiger und ausgedehnter Weise in keinem andern Niveau der OSM gefunden werden.

Der «Meilener Sandstein», der ebenso typisch für das gesamte Niveau ist wie die Hüllisteiner Nagelfluh selbst, wurde bestimmt in einem ruhigen Gewässer, in einem äusserst flachgründigen, untiefen See abgelagert, der zu Ende der Hüllisteiner Schüttung bestand und sich dabei über Hunderte von Quadratkilometern ausdehnte. Der Meilener Sandstein ist im Untersuchungsgebiet bekannt bei Feldbach, in sehr schöner Ausbildung im Gebiet von Meilen — darum die Bezeichnung «Meilener Sandstein» —, bei Esslingen-Grüningen, im Sihltal bei Station Sihlbrugg, ferner im N der Uetliberg-Synklinale bei Seebach, Schlieren, am Dietiker Hohnert und an der Greppe E Wettingen. Der See, in welchem der Meilener Sandstein sedimentiert wurde, muss längere Zeit bestanden haben, da die Ablagerung eines

feinkörnigen, 1–2 m mächtigen, durch und durch von Wellenrippelschichtung durchsetzten Sandsteins einige Zeit beansprucht haben dürfte. Es stellt sich überhaupt die Frage, ob nicht, wenigstens teilweise, die Schüttung der Hüllisteiner Nagelfluh in ein flaches, stehendes Gewässer erfolgt sei, das zum mindesten in ebenfalls vielen hundert Quadratkilometern Ausdehnung kurz vor der Schüttung der Hüllisteiner Nagelfluh bestanden haben muss. Dieser See ist dokumentiert durch den hellgraugelben, beigen Mergelkalk, den sogenannten «Meilener Kalk», der als unverkennbarer, typischster Begleiter des Niveaus in unserem Gebiet stets im Liegenden, weiter gegen E auch innerhalb der Hüllisteiner Nagelfluh oder des Meilener Sandsteins auftritt, in einer Gesamtausdehnung von 1500 km². Man findet nämlich diesen Mergelkalk (s. auch S. 00) immer wieder, sei es eingelagert, sei es im Liegenden der Hüllisteiner Nagelfluh von Schachen, W Herisau, bis nach Feldbach am obern Zürichsee, ferner in unserm Untersuchungsgebiet in ebenso weiter Verbreitung wie den Meilener Sandstein selbst (s. oben). Für eine solche Auffassung spräche auch das Vorkommen von eigenartig zerquetschten, d. h. noch nicht ganz diagenetisch verfestigten Mergelkalkgeröllen in der Hüllisteiner Nagelfluh im Sihltal bei Station Sihlbrugg. Die ausserordentlich gute Verfestigung der genannten Nagelfluh im Vergleich zu den gewöhnlichen Molassenagelfluhen ist sicher in erster Linie auf die Reinheit des kalkigen und dolomitischen Ausgangsmaterials, auf das Fehlen eines tonigen Anteiles und ganz besonders auf das reichliche Vorhandensein von feinem und feinstem Kalk-Dolomit-Sand zurückzuführen, von dem aus bei der Diagenese sehr leicht Karbonat ins Bindemittel abgegeben werden konnte. Andererseits aber darf die Tatsache, dass die Schüttung über weite Gebiete direkt auf einen durchziehenden, diagenetisch noch nicht überall vollständig verfestigten Kalkhorizont erfolgte, nicht unberücksichtigt bleiben, ebenso die Tatsache, dass nach der Ablagerung die Kies- und Sandmassen noch lange Zeit unter Wasser lagen, was die auffallende, weitgehend gleichmässig starke Verkittung begünstigte. Schliesslich weisen ja auch die gewöhnlichen Molassenagelfluhen einen hohen Karbonatgehalt auf, aber ihre Verkittung ist eine viel ungleichmässiger. Es gibt Zonen, wie z. B. im Gebiet von Grüningen und Esslingen, wo die Hüllisteiner Nagelfluh nicht ganz in der Ausbildung auftritt, wie wir sie beschrieben haben. Dies ist besonders dort der Fall, wo die feinkörnige Ausbildung zurücktritt.

1950 haben U. BÜCHLI und G. WELTI eine Zweiphasigkeit der Schüttung der Hüllisteiner Nagelfluh beschrieben. Eine Zweiphasigkeit, wie sie z. B. am Hüllistein von den beiden Autoren angegeben wird, scheint nach unserer Meinung dort nicht vorhanden zu sein. Eben-
sogut könnte dann eine Mehrphasigkeit angenommen werden.

Es ist schwierig, die stratigraphische und tektonische Herkunft der schwarzen Kalke und Dolomite in der Hüllisteiner Nagelfluh zu bestimmen. Diesbezüglich findet man bei keinem früheren Autor irgendwelche näheren Angaben. Helvetische Herkunft der Kalke (Hochgebirgskalk, Malmkalk) scheint aus paläotektonischen Gründen (s. S. 289) nicht in Frage zu kommen. Bei helvetischem Ursprung müssten wenigstens vereinzelte Mikrofossilien des an solchen reichen Hochgebirgskalkes gefunden werden. Bei der ausgezeichneten Gliederung der helvetischen Schichtreihe müssten in der Hüllisteiner Nagelfluh aber auch andere typisch helvetische Gerölle häufig vorkommen. Solche fehlen jedoch. Die schwarzen und dunkelgrauen Prätigau-Schiefer, die ich im weiteren zu einem Vergleich heranzog, zeigten auch nicht die Übereinstimmung, wie man sie gern gehabt hätte. Im Gefolge von Exkursionen des Geologischen Institutes unter der Leitung von Professor R. STAUB in die Ostalpen, ins Unter-Engadin und vor allem durch die geologische Exkursion ins Vorarlberg, wo ich viel Vergleichsmaterial aufsammelte, kam ich zur Überzeugung, dass es sich bei den schwarzen Kal-

ken der Hüllisteiner Nagelfluh in erster Linie um ladinische Arlbergkalke und Raiblerkalke handelt. Für diese Auffassung spricht auch das Vorkommen dunkler Dolomite und das stets gleichzeitige Auftreten von hellen, zuckerkörnigen Dolomiten. Kalk-Dolomit-Nagelfluhen sind aber u. a. aus bedeutend tiefern Molassehorizonten in Bayern etwa gefunden worden und ähnliche erwähnt auch K. HAVICHT (1945a). Siehe dazu auch R. STAUB (1934a, p. 36).

b) Die Ophiolith-Nagelfluhen

Ophiolithführende Nagelfluhen sind seit langem vom Tössstock bis an die Baarburg bekannt (H. TANNER, 1944; J. SPECK, 1953). Die hier aufgeführten Nagelfluhen aber fallen durch einen hohen Gehalt an Geröllen basischer Eruptiva auf. 20—40 %, ja stellenweise bis 65 % (Ophiolith-Nagelfluh vom Albispass) kann der Anteil des ophiolithischen Materials am Aufbau der Nagelfluh ausmachen. Ophiolithisches Material ist übrigens,

Geröllzählungen an Ophiolith-Nagelfluhen der Zürcher Molasse

	Oph	Kr	R	S	Geröll- durchmesser cm
Ophiolith-Nagelfluh					
Albispass	64	2	2	32	0,4 —3,3
	66	—	—	34	0,4 —3,3
	38	—	6	56	0,4 —3,3
	50	—	2	48	0,4 —3,3
	52	—	—	48	0,4 —3,3
	54	2	—	44	0,4 —3,3
Uetikon	32	2	8	58	0,15—0,6
	28	—	8	64	0,15—0,6
	28	—	14	58	0,15—0,6
	26	2	8	64	0,15—0,6
	20	4	2	74	0,3 —2,5
	20	2	10	68	0,3 —2,0
	18	4	8	70	0,5 —3,5
	22	4	4	70	0,3 —1,5
	20	2	4	74	0,3 —1,5
Hebeisenbach (bei Station Sihlbrugg)	26	6	12	56	0,3 —2,4
Kote 638 m (Sihlzopfzone)	28	8	8	56	0,3 —2,4
Mittelsberg (W Esslingen)	30	2	26	42	0,3 —2,1
Kote 608 m (Sihlzopfzone)	26	2	30	42	0,3 —2,1
	34	—	22	44	0,3 —1,8
Eschentobel (S Station Sihlbrugg)	42	—	4	54	0,2 —2,0
Kote 610 m (Sihlzopfzone)	64	—	—	36	0,3 —0,8
	60	—	—	40	0,2 —0,8
Pkt. 628,6 W Risiboden (N Stäfa)	26	2	2	70	0,6 —4,4
(Sihlzopfzone)	20	2	—	78	0,6 —4,4

Es wurden je 50 Gerölle gezählt. Die Zahlen bedeuten Prozente.

R Radiolarite Oph Ophiolithe Kr übriges Kristallin S übrige Sedimente
Die Zahlen in der letzten Kolonne bedeuten die grössten Durchmesser der gezählten Gerölle.

wenn auch untergeordnet, in der ganzen Zürcher Molasse verbreitet. Der hohe Gehalt an Ophiolithen ist aber, gesamthaft betrachtet, etwas Aussergewöhnliches in den Nagelfluhen der OSM, wo er im allgemeinen nur wenige Prozente erreicht. Der übrige Kristallinanteil bleibt normal. Weitaus am häufigsten treten in der Gruppe der Ophiolithgerölle Spilite und Diabase auf, die etwa drei Viertel aller basischen Eruptiva ausmachen. Seltener sind Diallagabros, die im allgemeinen stark zersetzt sind, und Diabasporphyrite. Serpentine sind sehr selten. In den Ophiolith-Sandsteinen hingegen ist Serpentin häufig (vgl. auch F. HOFMANN, 1951). Über die Herkunft der Ophiolithe haben wir uns bereits geäußert. Es sei hierzu auch auf die sorgfältige Arbeit von J. SPECK (1953) und seine eingehenden allgemeinen Ausführungen über die petrographische Zusammensetzung der Nagelfluh an der Baarburg hingewiesen. Entgegen seiner Auffassung liegt die Baarburg-Nagelfluh allerdings recht hoch in der OSM.

Die Auffassung, dass als Ursprungsland für die Ophiolithgerölle am ehesten die oberpenninische Platta-Decke in Frage kommt, gründet sich in erster Linie auf die Gleichartigkeit der Nagelfluhgerölle mit den durchaus analogen Gesteinen von Arosa und Oberhalbstein; sie wird in sehr willkommener Weise aber weiter unterstützt durch die Tatsache, dass die Ophiolith-Nagelfluhen besonders in der Zone vom Sihlzopf (NE von Sihlbrugg), stellenweise massenhaft auch rote Radiolarite führen, so dass man in gewissen Fällen fast versucht wäre, von einer Radiolarit-Nagelfluh zu sprechen. Als Beispiele von Zählungen seien die Angaben der Tabelle auf S. 161 genannt.

Die Radiolarite und Ophiolithe finden sich vor allem in den feineren Partien häufig angereichert. Auch hier kommt sehr deutlich zum Ausdruck, wie gross die Unterschiede in der petrographischen Zusammensetzung einer Nagelfluh in horizontaler Erstreckung sein können.

Da es sich bei den Ophiolithen um auffällige und relativ herkunftsempfindliche Gesteine handelt, wurde ihnen seit jeher vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt. Von besonderem Interesse ist es abzuklären, wann zum erstenmal ophiolithisches Material in den Alpen zum Abtrag gelangte (man vgl. R. STAUB, 1934a, S. 57; H. H. RENZ, 1937; M. VUAGNAT, 1943; K. HABICHT, 1945; J. SPECK, 1953). Ophiolithisches Material findet man bereits in vormolassischer Zeit im unteren Altorfer Sandstein, fehlt aber vollständig im Gruontalkonglomerat. Die chattische Rigi-Nagelfluh ist sehr arm an ophiolithischen Geröllen. Aus dem gleichaltrigen Speerfächer und aus dem chattischen Anteil der Kronbergzone sowie vom Mont Pélerin wurden bis heute keine Ophiolithgerölle bekannt. Erst während des Aquitans, mit dem Beginn kristallinreicher Geröllschüttungen (z. B. Hohrone-Schüttung), beginnt sich auch ein geringer Ophiolithgehalt in den Nagelfluhen bemerkbar zu machen. Am Gäbris und am Kronberg erscheinen die Ophiolithgerölle erst im oberen Aquitan (H. H. RENZ, 1937; K. HABICHT, 1945a). Aus der ganzen OMM sind Ophiolithfunde bekannt geworden. In der OSM kommen sie relativ häufig vor. Sicherlich erreicht die Ophiolithführung der Molassesedimente in der OSM ein Maximum, aber es ist doch nicht ganz so wie J. SPECK (1953) es wahr haben möchte, wenn er S. 29 schreibt: «Ihr Schwergewicht (gemeint ist das Schwergewicht der Ophiolithschüttung) liegt im hohen Torton, also kurz bevor die Molassesedimentation in diesem Gebiet überhaupt erlischt.» Im Gebiet von Uetikon-Männedorf liegt eine mächtige Ophiolith-Nagelfluh mit 20–40 % Ophiolithmaterial, stratigraphisch 50 m unter dem Meilener Kalk und gehört

damit zum unteren Abschnitt der OSM. Ein unvermitteltes Einsetzen der Ophiolithführung in den Molassenagelfluhen der OSM lässt sich nicht feststellen. Nach unserer Auffassung ist der stets vorhandene geringere oder grössere Ophiolithgehalt in der OSM eine allgemeine Erscheinung, die nicht auf besondere Katastrophen im Alpeninneren zurückgeführt zu werden braucht.

F. HOFMANN (1951) hat als erster in der OSM der Ostschweiz am Nollen einen Konglomerathorizont gefunden, der durch seinen Reichtum an ophiolithischem Material auffällt. Der Gehalt an basischen Eruptiva beträgt 25 %. Das Niveau, dessen Einmaligkeit vom Autor mehrmals betont wird, lässt sich als vorzüglicher Leithorizont im ganzen östlichen Nollengebiet verfolgen. F. HOFMANN nimmt, wie für die Erklärung der Entstehung des «Appenzeller Granites», die plötzliche Verschwemmung eines inneralpiner Bergsturzes aus vorwiegend ophiolithischem Material an.

4. Die Kalke

Im Vergleich zu den Mergeln, Sandsteinen und Nagelfluhen treten die Kalke im Molasseprofil ganz allgemein mengenmässig stark zurück. Ihr Anteil beträgt im Gebiet der Glattalschwelle und am Pfannenstiel aber immerhin etwa 6 %, an der Falätsche nur 2,2 %. Naturgemäss ist eine Abnahme des Kalkanteils von den nagelfluhreicheren Gebieten zu den nagelfluharmen Gebieten zu erkennen. Ein weiterer Grund dafür liegt einmal in der Verminderung der Anzahl der Knollenkalke, die gerne im Hangenden der Nagelfluhen auftreten, vor allem aber in der Abnahme der durchschnittlichen Mächtigkeiten der Kalke. Schon A. ESCHER VON DER LINTH (1844, 1862) hat die grosse Ausdehnung gewisser Kalklager, besonders des Zürcher Oberlandes erkannt, damals noch auffällig dokumentiert durch die zahlreichen Stellen, wo der Kalk gebrannt wurde. Diese Erkenntnis geriet aber später in Vergessenheit, und von den verschiedenen weiteren Bearbeitern der OSM wurde in der Folge bis heute den Kalken der OSM, mit wenigen Ausnahmen, nur ganz lokale Bedeutung beigemessen. Im Laufe unserer eigenen Untersuchungen hat es sich aber deutlich gezeigt, dass gerade den Kalken, als weitausgedehnten Niveaus und damit als guten Leithorizonten grosse Bedeutung zukommt (s. S. 252—255). Die Molassekalke zeigen in ihrer Ausbildung eine beträchtliche Mannigfaltigkeit. Doch ist es nicht leicht, sie in bestimmte Gruppen zusammenzufassen, da vielfach Übergänge bestehen.

F. HOFMANN hat in der OSM der Ostschweiz zwei Gruppen von Kalken unterschieden: «Süsswasserkalke» und «Wetterkalke». F. HOFMANN möchte die Bezeichnung Süsswasserkalk ausschliesslich für eindeutig limnische Kalke mit limnischen Fossilien verwenden. Unserer Meinung nach geht eine solche Einschränkung zu weit. Unter Süsswasserkalken verstehen wir — dem Wortlaut entsprechend — alle Kalke, die in Süsswasser, vor allem in Seen oder am Ende von Überschwemmungsperioden der alpinen Flüsse auch in isolierten Tümpeln abgelagert wurden. Der Begriff «Wetterkalk» wird schon bei A. ESCHER VON DER LINTH (1844) verwendet und in der Folge auch von andern Autoren häufig gebraucht⁶⁾. Am

⁶⁾ Trotz eifriger Nachforschungen gelang es mir nicht, die Herkunft und den genauen Sinn dieses Wortes zu ermitteln. Der Ausdruck hat mit der faziellen Ausbildung des Gesteins nichts zu tun. Er scheint damit zusammenzuhängen, dass solche Kalke gebrannt wurden. Es wurden früher aber alle Sorten von Kalk, ja sogar Kalknagelfluhen gebrannt. Der Begriff ist somit unklar.

ehsten kann folgende Gliederung der Kalke der OSM vorgenommen werden:

Knollenkalke («Wetterkalke»)	Kalke mit detritischen Beimengungen, ungeschichtet, knollig
Mergelkalke	Kalke mit detritischen Beimengungen, geschichtet, gebankt
Stinkkalke	Reine Kalkausscheidungen (fossile Seekreide), meist plattig, bituminös
Algenkalke	Reine organische Kalkausscheidungen, ungeschichtet, knollig

a) Die Knollenkalke

Sie sind die am meisten verbreitete Gruppe unter den Kalken der OSM. Es handelt sich um weissgraue, knollige Kalke mit mehr oder weniger detritischen Beimengungen. Sie gehen stets in allmählichem Übergang aus den liegenden Schichten hervor. Nach oben gehen sie oft in bituminöse Mergel über. Es sei hier nochmals an das sehr häufige Auftreten bituminöser Mergel zusammen mit hellen, kalkigen Mergeln und Kalken erinnert. Schon sehr kalkige Mergel zeigen bei der Verwitterung die Tendenz, harte, knollige Partien auszubilden. Beim Übergang von kalkigen Mergeln zu Knollenkalken beobachtet man zuerst vereinzelte, harte, etwa erbsengrosse Kalkknöllchen in den Mergeln, die gegen den Knollenkalk hin immer häufiger auftreten. Zugleich wird die Farbe der Mergel immer heller bis grauweiss. Dort, wo der eigentliche Knollenkalk beginnt, treten faust- bis kopfgrosse, rundliche Knollen auf, die ihrerseits die Kalkknöllchen umschliessen, somit später als diese entstanden sind. Die grossen Kalkknollen verwittern oft schalig. Im Zentrum sind sie im allgemeinen auch sehr hart und rein.

Führt ein Knollenkalk Versteinerungen, so sind diese am häufigsten in den Knollen zu finden und dort meist sehr schön erhalten und nicht zerdrückt (z. B. Knollenkalk mit Heliziden Falätsche Kote 618 m, Knollenkalk mit limnischen Fossilien Entlisberg Kote 476 m). Dieser Umstand spricht für eine relativ frühe Entstehung der Kalkknollen vor der Überlagerung durch andere Schichten. Doch hat man unbedingt den Eindruck, dass sie sich erst nach der Ablagerung der Schicht gebildet haben, da sie willkürlich das in der Schicht enthaltene Material (Detritus, Versteinerungen) umfassen. Die kleinen Knöllchen erinnern einen stark an die weissen, kleinen, vielgestaltigen, rundlichen Konkretionen aus reinem Kalk, die man in den liegenden Schichten bei Quellaustrittsstellen findet. Solche rezenten Kalkkonkretionen findet man z. B. sehr häufig an der Grenze Molasse-Moräne, aber stets nur in den liegenden Molassemergeln. Im durchfeuchteten Molassemergel wird der Kalk aus dem kalkhaltigen Moränenwasser in Form dieser Konkretionen ausgeschieden. Auch bei den grossen Knollen scheint es sich um fossile, konkretionsartige septarienähnliche Bildungen zu handeln. In einem Knollenkalk können die Kalkknollen vereinzelt nebeneinanderliegen. Das umgebende mergelige, helle Material ist weich, die Knollen sind hart, dicht, oft von Kalzitadern durchzogen. Die Kalkknollen können besonders gegen das Hangende hin so häufig werden, dass sie ineinander verbacken, getrennt durch feine, suturartige Mergelnähte,

entlang denen sie bei der Verwitterung oder beim Zerschlagen zerfallen. Ist der Kalk mehr als 1 m mächtig, so bildet er im allgemeinen eine durchgehende, harte Bank (Wetterkalk von Hombrechtikon). Knollenkalke verwittern mit rauher Oberfläche. Die grobkristallinen Kalzitadern verwittern weniger rasch als der umgebende, dichte, feinkristalline, meist leicht verunreinigte Kalk. Leicht rötliche Färbung der Knollenkalke ist häufig. Überhaupt verhalten sie sich in Bezug auf Farbe und detritische Anteile recht individuell. In der Regel sind sie fossilieer.

Im Wetterkalk von Hombrechtikon sind mir zwei Stellen bekannt, wo grosse Gerölle, alle von einer etwa 2 mm dicken Kalkkruste umgeben, vereinzelt im Wetterkalk «schwimmen» ohne sich zu berühren. Während im allgemeinen das grössere detritische Material primär, mit dem Kalk, zur Ablagerung gelangte, muss in den zuletzt genannten Fällen angenommen werden, dass die im Kalk «schwimmenden» Gerölle durch eine spätere Schüttung in den noch nicht vollständig diagenetisch verfestigten Kalk gelangt sind. Eigenartig bleibt die Kalkumkrustung dieser Gerölle. Die meisten Knollenkalke sind nach unserer Auffassung chemische Ausscheidungen — vielleicht auch unter Mitbeteiligung einer verschwundenen Mikrofauna — in schwach bewegtem bis ruhigem kalkreichem Wasser, meist am Ende von Überschwemmungsperioden. Zum kleineren Teil sind sie entstanden aus konkretionsartigen Kalkanreicherungen im Untergrund fossiler Böden (s. S. 140). Der sogenannte «Albstein», ebenfalls ein Knollenkalk, ist nach der heutigen Auffassung der süddeutschen Geologen ein Exsudationskalk.

b) Die Mergelkalke

Sie zeigen, wie schon aus ihrem Namen hervorgeht, ziemlich starke, feinst-detritische, meist tonige Beimengungen. Ihre Ablagerung erfolgte in stehenden, sehr ausgedehnten Gewässern während längeren, ruhigen Perioden. Die Mergelkalke sind durchgehend gleichmässig, feinkörnig ausgebildet. Sie sind gut gebankt, oft erkennt man im Gestein eine Feinschichtung, die aber im allgemeinen durch diagenetische Vorgänge verwischt ist. Die Farbe ist hellgrau, beige, gelblich. Bunte Fleckung kommt ebenfalls vor.

Weitaus das schönste Beispiel besitzen wir im Meilener Kalk. Von Herisau (Schachen)–Wattwil–Hüllistein–Feldbach–Grüningen–Männedorf–Meilen–Horgen–Station Sihlbrugg bis nach Dietikon–Schlieren–Seebach–Greppe (2 km W Otelfingen) besitzt das Gestein stets genau dieselbe Ausbildung. N Urdorf wurde der Meilener Kalk in zwei, heute vollständig verwachsenen Gruben ausgebeutet (A. WETTSTEIN, 1885). Diese einheitliche Ausbildung lässt sich nur durch Ablagerung in einem stehenden Gewässer erklären. Die Grösse dieses Sees betrug, der oben genannten Ausdehnung des Meilener Kalkes gemäss, mindestens 1500 km² (Zürichsee 88 km²). Andere Mergelkalkniveaus: Sihltalstrasse NW Klemmeriboden (bei Dorf Sihlbrugg) gegenüber Pkt. 519, Tobel bei Wührenbach (E Station Sihlbrugg) Kote 620 m, Emmet ob Albrisrieden Kote 480 m.

c) *Stinkkalke, fossile Seekreiden*

Mächtigmässig nicht einmal zu einem Tausendstel am Molasseprofil beteiligt, besitzen diese Kalke dennoch weite horizontale Ausdehnung in der Zürcher Molasse, so dass sie für unsere Untersuchungen von grösster Bedeutung wurden. Der Stinkkalk bildet in den übrigen Molasseschichten einen auffälligen Horizont. Er ist gut gebankt, durchziehend, wenige Zentimeter bis $\frac{1}{2}$ m mächtig. Seine Farbe ist im allgemeinen gelblich-braun, doch kommen schlierenartige Übergänge bis zu vollständig schwarzer Färbung vor (z. B. Stinkkalk Hintertobel bei Affoltern b. Zürich Kote 485 m). Es handelt sich dabei nur um lokale Ausbildungen. 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). Analysen im Passon-Apparat ergaben 95—96 % reines CaCO_3 , Dolomit fehlt vollständig; es ist eine reine organisch-chemische, limnische Kalkausfällung, eine fossile Seekreide. Typisch ist auch das Fehlen jeglicher detritischer Einschwemmungen. Man erkennt schon aus diesen rein petrographischen Merkmalen die Besonderheit des Stinkkalkes. Dazu kommt nun aber noch sein Fossilinhalt, der ihn in mindestens ebensolcher Weise von den übrigen Molassegesteinen unterscheidet. Es handelt sich stets um limnische Mollusken und Charaalgenreste.

Der Stinkkalk zeigt zwei Arten seiner Ausbildung: Er kann vollkommen plattig, klingend hart, sehr dicht sein und enthält dann eher wenig Molluskenschalen, dafür aber sehr häufig Charaalgenreste. Die Farbe ist in diesem Fall immer bräunlich, nie schwarz. Die plattige Ausbildung findet sich stets in der oberen Partie des «limnischen Leitniveaus» (s. S. 253), sehr schön z. B. am Entlisberg Kote 470 m und am Rüttschlibach Kote 520 m. An beiden Fundstellen können auf den obersten Platten prachtvolle fossile Trockenrisse, ausgefüllt mit grünem Glimmermergeln und Glimmersandstein, ebenso Wurmgänge, die mit grünem Glimmermaterial ausgefüllt sind, beobachtet werden. Häufiger und weiter verbreitet, und eher den unteren Partien des limnischen Leitniveaus entsprechend, ist die massige, sehr stark bituminöse, feinporöse, hellbraune, dunkelbraun-violettliche bis schwarze Ausbildung des Stinkkalkes. Die Mächtigkeit schwankt von wenigen Zentimetern bis zu $\frac{1}{2}$ m. In diesen Partien ist der Stinkkalk sehr fossilreich, massig erfüllt von Molluskenschalen-trümmern, Charaooonien und pflanzlichen Resten.

Stinkkalkvorkommen ausserhalb des limnischen Leitniveaus findet man stratigraphisch 40—50 m über dem limnischen Leitniveau in weiter Verbreitung (Doldertobelzone, s. S. 254), ferner lokal im Hangenden der Nagelfluhbänk 10 m unter der «Chli Bürglen»-Nagelfluh¹⁾, ebenso eher lokal 15 m unter der Üetliberg-Nagelfluh. Im NW der Üetlibergmulde scheinen Stinkkalkhori-

¹⁾ Benannt nach dem Chli Bürglen, Schnabellücke.

zonte eher häufiger zu werden: Stinkkalkhorizont etwa 75 m unter dem limnischen Leitniveau, Stinkkalke im Bereich des Meilener Kalkes und wenig unter dem Meilener Kalk.

d) Algenkalke

Im Bach, der von Sonnenberg (S Ausser-Vollikon) gegen Felsengrund (S Esslingen) fliesst, findet sich auf Kote 530 m (Koord. 696,25/237,23) ein etwa $\frac{1}{2}$ 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, wie aus einem Vergleich mit den Beschreibungen und den Abbildungen in der Literatur (U. BÜCHI und F. HOFMANN, 1945; J. SPECK, 1949; F. HOFMANN, 1951) und mit den betreffenden Handstücken depointiert im Geologischen Institut hervorgeht, um fossile Blaualgenknollen (*Rivularia* sp.). Derartige Algen finden sich heute in klaren Gewässern, z. B. im Bodensee und im Untersee. Wir erhalten damit zugleich einen willkommenen Hinweis über die Ablagerungsbedingungen zur Zeit der Entstehung unseres Algenkalkes. Es ist die oben genannte Fundstelle am Bach S Ausser-Vollikon die einzige, wo die Bildung des Kalkes durch Algen gesichert ist. Doch möchten wir die Mitwirkung von Algen auch bei der Entstehung anderer Kalke nicht ausser Betracht lassen. So findet sich im gleichen Niveau, etwa 25 m über dem Meilener Kalk, am Rossbach bei Herrliberg Kote 420 m, ein äusserlich ähnlicher, feinknolliger, rauher, sehr zäher, brauner, reiner Kalk, den man seinem Aussehen nach auch als Algenkalk bezeichnen möchte, obwohl konzentrische Strukturen in den allerdings kleinen Knollen nicht festgestellt werden konnten. Ein rötlichbrauner, sehr zäher, massiger, sehr reiner Kalk von innerlich ganz unregelmässiger Struktur liegt als etwa 30 cm mächtige Bank am Entlisberg, lokal 2 m über dem Stinkkalk des limnischen Leitniveaus. Mit diesem Kalk vollständig identisch ist der braune, zähe, rauhe, reine, limnische Kalk in der Glimmersandsteinzone am Langenberg Kote 540 m. Auch hier hat man den Eindruck, dass es sich, z. T. wenigstens, um einen Algenkalk handeln könnte. Zuletzt seien noch die eigenartigen braunen Kalkinkrustationen von Heliziden genannt, welche zusammen mit braunen, harten Kalkknöllchen im sandigen Knollenkalk an der Falätsche Kote 618 m gefunden werden. Es wäre sehr wohl möglich, dass es sich hierbei um Mumienbildung handelt, wie F. HOFMANN (1951, S. 16) solche aus der ostschweizerischen OSM beschreibt. Am Aufbau der Stinkkalke sind vegetative Reste der Charaalgen massgebend beteiligt.

5. Die Kohlen

Man hat den Molassekohlen seit langer Zeit grosse Aufmerksamkeit geschenkt. Schon A. ESCHER VON DER LINTH schreibt 1844, S. 157: «Trotz dieser nachtheiligen Eigenschaften wäre indess die Auffindung bedeutender Kohlenlagern für den Canton sehr erwünscht; alle diessfälligen Nachforschungen sind

aber fast erfolglos geblieben und werden es vermutlich auch in Zukunft bleiben.» Dieser Satz hat sich durchaus bestätigt. Es sind in den letzten hundert Jahren in der Zürcher Molasse keine neuen Kohlenlager mehr bekannt geworden.

In unserm Untersuchungsgebiet liegen zwei grössere Kohlenlager: Das älteste und zugleich grösste Molassekohlenbergwerk der Schweiz Gottshalden-Gwandlen-Käpfnach, das schon im 16. Jahrhundert bekannt war (J. STUMPF, 1548) und das um das Jahr 1785 entdeckte Kohlenlager von Riedhof im Äugstertal (Reppischtal). 1784 bis 1945 wurden im Käpfnacher Kohlenbergwerk 322 730 Tonnen Kohle gefördert, während des zweiten Weltkrieges von 1941 bis 1945 allein 41 233 Tonnen. In Riedhof sind seit 1787 31 095 Tonnen Kohle gefördert worden, davon allein 1942—1945 28 877 Tonnen (E. LETSCH, 1899; A. VON MOOS, 1947). An folgenden weiteren Stellen wurden in unserm Untersuchungsgebiet, allerdings nur kurzfristig und unrentabel, Molassekohlen abgebaut: Im Rossweg ob Adliswil und bei Sellenbüren. Wenn auch keine neuen Kohlenlager entdeckt wurden, so wurde doch besonders während des zweiten Weltkrieges die Ausdehnung der schon bekannten Flöze, vor allem des Käpfnacher und Riedhofer Flözes genauer untersucht. Die drei Bohrungen im Sihltal bei Station Sihlbrugg, durch welche die Ausdehnung des Lagers von Käpfnach nach W ermittelt werden sollte, ergaben wertvolle Auskünfte über die Molassestrukturen im Gebiet zwischen Zürichsee und Sihltal (A. VON MOOS, 1947).

Bei den Molassekohlenvorkommen ist zu unterscheiden zwischen autochthonen und allochthonen Kohlen. Von wirtschaftlicher Bedeutung sind einzig die autochthonen Kohlen.

a) Autochthone Kohlenvorkommen

Diese Kohle ist hervorgegangen aus organischem Material, das an Ort und Stelle gewachsen und auch am selben Ort eingesedimentiert worden ist. Es sind fossile Flachmoore. Sozusagen sämtliche autochthonen Kohlenvorkommen in unserm Untersuchungsgebiet, in denen die Kohle mehr als einige Millimeter Mächtigkeit erreicht, gehören zwei Niveaus an: 1. Dem Käpfnacher Niveau 60—65 m unter dem Meilener Kalk gelegen. 2. Dem Niveau von Riedhof-Rossweg, welches identisch ist mit dem limnischen Leitniveau der Zürcher Molasse (s. S. 253).

1. Das Käpfnacher Kohlenniveau

Es liegt stratigraphisch relativ tief im unteren Abschnitt der OSM und tritt daher in unserem Gebiet nur in einer recht beschränkten Zone, am Zürichsee im Kern der Käpfnach-Grüninger-Antiklinale zutage. Durch die Bohrungen, welche vom August 1945 bis Januar 1946 im Sihltal bei Station Sihlbrugg abgeteuft wurden, konnte das Flöz, allerdings in reduzierter Mächtigkeit, 40 bis 50 m unter dem Sihlbett festgestellt werden. Es ergibt sich allein daraus schon eine W-E-Ausdehnung des Flözes von 2 km (s. A. VON MOOS, 1946). Es gelang

mir 1953 das Käpfnacher Niveau 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-Männedorf bildet. Die Auffindung des Niveaus dürfte allerdings nur von rein geologischem Interesse sein, denn das Flöz ist taub. Die mächtige Nagelfluh-Knauersandsteinbank auf der rechten See-seite entspricht den mächtigen Knauersandsteinen über dem Käpfnacher Flöz am Meilibach Kote 455—465 m. Stratigraphisch und petrographisch ist das Käpfnacher Kohlenniveau und auch die Qualität der Kohle schon sehr eingehend untersucht und beschrieben worden. Es sei diesbezüglich auf die umfassenden Arbeiten von E. LETSCH (1899, 1925) und A. VON MOOS (1946, 1947) hingewiesen.

Profil durch das Käpfnacher Kohlenniveau auf der rechten Seite des Zürichsees, am äusseren Dollikerbach E Obermeilen auf Kote 425 m

etwa 4 m	Nagelfluh und Knauersandstein (= Ophiolith-Nagelfluh von Uetikon)
etwa 2 m	feiner, hellgrauer Knauersandstein
1 m	nicht aufgeschlossen
> 20 cm	hellgraue, feinsandige Mergel
40 cm	hellgraue bis leicht bräunliche, dichte, splitterige, feinsandige, feinstgeschichtete Mergel mit Heliziden, oben leicht bituminös
25 cm	schwarze, kohlige, leicht sandige Schiefermergel mit Glimmerschüppchen und limnischen Schnecken
20 cm	braune bis hellbraune bituminöse Mergel
> 1 m	hellgraue bis weissliche, gelbgefleckte, dichte, zähe Mergel

Das Niveau liegt hier stratigraphisch 60—65 m unter dem Niveau des «Appenzeller Granites».

2. Die Kohlenvorkommen im limnischen Leitniveau der Zürcher Molasse.

Das limnische Leitniveau liegt stratigraphisch 210 m über dem Käpfnacher Niveau. Wegen dieser stratigraphisch höheren Lage ist das Niveau an sehr vielen Stellen in der weiteren Umgebung von Zürich aufgeschlossen. An folgenden Stellen wurden im limnischen Leitniveau Kohlen gefunden:

Vorkommen:	Koordinaten:	Kohle:
Entlisberg-W-Hang	Kote 570 m (681,7/242,1—243,1)	einige mm
Obstgarten bei Adliswil (Zch.)	Kote 560 m (681,32/240,73)	3—5 cm
Rossweg bei Adliswil (Zch.)	Kote 605 m (681,30/239,47)	bis 40 cm
Schwyzertobel (NE Albispass)	Kote 640 m (681,7/238,25)	insges. rund 20 cm
Riedhof im Äugstertal	Kote 600—610 m (n. A. v. Moos, 1947)	25—30 cm
Salster ob Zollikon	Kote 550 m (686,90/242,95)	5 cm

Beim letztgenannten, neuentdeckten Kohlenvorkommen im Salster ist die Zugehörigkeit zum limnischen Leitniveau nicht gesichert (s. S. 279).

Da alle Vorkommen zum gleichen Niveau gehören, ist auch die stratigraphische Ausbildung eine recht einheitliche (vgl. das allgemeine Profil durch das limnische Leitniveau der Zürcher Molasse, S. 218).

Bei den autochthonen Molassekohlen der Zürcher Molasse handelt es sich zur Hauptsache um schwarze, glänzende, muschelrig brechende Kohle (Autunit, vgl. H. L. HALBERTSMAA, 1944; A. VON MOOS, 1947) und seltener um schwarze, matte Kohle (Durit). Es sind sogenannte Pechkohlen (Hartbraunkohlen). Sie sehen aus wie Steinkohle, geben aber einen braunen Strich und sind spezifisch viel leichter. Dass es sich bei den Molassekohlen um fossile Niedermoorbildungen handelt, geht aus den limnischen Schneckenschalen (meist Planorbis-schalen) hervor, die lagenweise sehr häufig in der Kohle gefunden werden, und ebenso aus den Stinkkalklagen, die sich in der Kohle einschalten und diese auch vollständig ersetzen können. Schon bei der Besprechung der bituminösen, schwärzlichen Mergel, die häufig in der Molasse angetroffen werden (vgl. das Falätschenprofil, N. PAVONI, 1952), haben wir darauf hingewiesen, dass es sich dabei um Anzeichen autochthoner, terrestrischer Vegetation handelt. Zu eigentlicher Kohlenbildung kam es aber nie, obwohl die bituminösen Mergel bis mehr als 1 m mächtig werden können.

b) Allochthone Kohlenvorkommen

Nicht selten findet man in Sandsteinen und Nagelfluhen kleine, aber auch bis kopfgrosse Stücke reiner, schwarzglänzender Kohle. Es handelt sich um eingeschwemmtes, fossiles Holz, Blätter, Äste, Stammstücke. Während sehr viele Nagelfluhen und Sandsteine fossilieer sind, zeigen gewisse Niveaus eine auffallende Häufung solcher Einschwemmungen und sind in den kohlenhaltigen Partien stets dunkelgrau gefärbt (Reduktionserscheinung). Diese Niveaus sind für uns darum wichtig, weil sie beweisen, dass damals in der Nähe der Flüsse oder vor den Überschwemmungen eine reiche Waldvegetation vorhanden war. Niveaus mit Schwemmkohlen und Blättern sind:

Nagelfluh bei Redlikon, Pkt. 563,1

Nagelfluh-Knauersandstein am Stollen ob Männedorf Kote 620 m

Knauersandstein etwa 15 m unter dem limnischen Leitniveau im Meilener Tobel 545—550 m,

Beugentobel Kote 555 m, SW Hinter Brand ob Uetikon Kote 570 m (Blätter)

Nagelfluh bei Ober Wolfhausen unter Pkt. 539,0

Nagelfluh Scheibenstand N Binz ob Stäfa Kote 580 m

Nagelfluh und Knauersandstein Tobel bei Itzikon Kote 490 m

Nagelfluh rechtes Raggentobel Kote 765 m WNW Hintereg

Nagelfluh Kohlgrub Pkt. 775 zwischen Scheuren und Hinter Guldenen

Nagelfluh bei Mittler Rüti, im Tobel W Wädenswil Kote 515 m unter dem limnischen Leitniveau

Knauersandstein in den Tobeln ob Steinmatt bei Station Sihlbrugg Kote 660 m unter dem limnischen Leitniveau

Nagelfluh-Knauersandstein im Schiffli S Dorf Sihlbrugg Kote 575 m

Knauersandstein unter dem limnischen Niveau, rechter Sihlhang Kote 495 m, gegenüber Gontenbach

Knauersandstein unter dem limnischen Leitniveau am Entlisberg-W-Hang Kote 465 m

Vor allem die Knauersandsteine und Nagelfluhen im Liegenden und Hangenden des Wetterkalkes von Hombrechtikon und des limnischen Leitniveaus zeichnen sich durch reichliche Schwemmholzföhrung aus. Als Besonderheit

sei der Fund eines verkieselten Palmenstammstückes im Klaustobel S Berlikon auf Kote 455 m (Koord. 702,58/233,89) erwähnt (vgl. den Abschnitt über Fossilfunde, S. 179).

B. Vulkanismus und Verkieselungserscheinungen

Im Küsnachter Tobel konnte im Jahre 1955 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) (N. PAVONI, 1956a). 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 (s. Profil S. 223). Die grösste Mächtigkeit von 16 cm wurde am Nordabfall des Wulphügels gefunden. Die Mächtigkeitsschwankungen sind bedingt einerseits durch primäre Erosion, andererseits durch verschieden starke Zusammenquetschung und Ausquetschung des Bentonites durch die Molasseschichten im Hangenden. Weiter tobelaufwärts fehlt der Tuff, da er bereits primär, bevor die hangenden Molasseschichten abgelagert wurden, wieder wegerodiert wurde. Dort, wo er sich weiter nach Westen fortsetzen würde, findet sich eine Knauersandsteinbank. Das Vorkommen im Küsnachter Tobel stellt also nur einen Rest dar, der vor primärer Erosion verschont blieb. Aus diesem Grunde dürfte der Tuffhorizont in der Zürcher Molasse nur noch an vereinzelter Stellen gefunden werden.

Vulkanische Bildungen sind bisher aus unserem Untersuchungsgebiet nicht bekannt geworden. Sie sind von besonderem Interesse, weil sie sich in Bezug auf Entstehungsweise und Gesteinsinhalt völlig von den übrigen Molassesedimenten unterscheiden und darum als gute Leithorizonte von Bedeutung sind (s. S. 256). Die stratigraphische Stellung des Küsnachter Bentonites wird auf S. 266ff. näher besprochen.

Die Hauptmasse des Bentonites wird gebildet durch grauen Montmorillonit-Ton, hervorgegangen durch Verwitterung vulkanischer Glasasche. Es konnten nirgends irgendwelche Anzeichen gefunden werden, die auf eine fluviatile Verschwemmung des Tuffes hinweisen würden. Muskowit und gemeiner Granat fehlen vollständig. Von besonderem Interesse sind die weiter unten erwähnten Einzelmineralien, wie Quarz, Biotit, Zirkon, Apatit, Melanit, welche regellos in der tonigen Grundmasse eingelagert und direkten vulkanischen Ursprungs sind. Das häufige Vorkommen regelmässiger elliptoidischer Quarze, die in ihrer Form am besten mit «Ameiseneiern» verglichen werden können, liess uns zuerst vermuten, dass es sich dabei um angeschmolzene Mineralien handelt. Die späteren Untersuchungen, insbesondere das Auffinden tropfenförmiger Melanite, haben bestätigt, dass neben der eigentlichen Korrosion auch Anschmelzungen und Aufschmelzungen eine wichtige Rolle spielen. Verschiedene Gründe, wie die Grössenverteilung und Zusammensetzung der Tuffmineralien im Vergleich

mit anderen Fundstellen, ferner das häufige Vorkommen von angeschmolzenen und korrodierten Mineralien führten uns zur Ansicht, dass die Mineralien ursprünglich im vulkanischen Glas eingebettet waren. So kam es wohl zur Windsichtung der Glasteilchen, nicht aber zur Windsichtung der darin eingeschlossenen Mineralien.

Herr J. NEHER am Geologischen Institut der E.T.H. zeigte grosses Interesse für das Tuffvorkommen. Er hat insbesondere an Einzelmineralien des Tuffs sehr detaillierte Untersuchungen vorgenommen (Untersuchung von Einschlüssen, photographische Aufnahmen von Einzelmineralien u.a.) und ist mir mit seinen reichen Kenntnissen in der Mikroskopie von Tuffen mit Rat und Tat beigestanden, wofür ich ihm auch an dieser Stelle herzlich danke. Eine gemeinsame Publikation über die Mineralien im Küsnachter Bentonit ist vorgesehen. Herr J. NEHER hat die bisherigen Untersuchungen wie folgt kurz zusammengefasst:

«Bei der Untersuchung verschiedener Proben aus der Bentonitschicht des Küsnachter Tobels zeigte es sich, dass nach der Abtrennung des Schlämmstoffes ein verschieden grosser Gehalt an Sandfraktion zurückblieb. Schätzungsweise überschritt dieser aber nie 2 %. Im ganzen konnten 14 verschiedene Mineralien bestimmt werden, von denen nur zwei bis drei als nicht vulkanisch bezeichnet werden können. Den grössten Mineraldurchmesser wiesen die Glimmer auf, deren Maximum um 4 mm lag. Apatit und Zirkon erreichten 3 mm und alle übrigen Mineralien liessen nicht mehr als 2 mm Durchmesser feststellen.

Über die Mineralien der Sandfraktion konnte das Folgende festgehalten werden:

a) Leichtmineralien und Glimmer

Die Leichtmineralien machen etwa 40 % der Sandfraktion aus. Die Hauptmasse besteht aus Biotit und Quarz, wogegen Sanidin und Andesin nicht häufig sind und als Karbonat selten Dolomit auftritt.

Als Glimmer ist nur Biotit vorhanden. Es ist olivgrün bis dunkelbraun und sehr oft idiomorph. Es treten aber auch häufig korrodierte Individuen auf sowie Bruchstücke. Als Einschlüsse sind meist Apatit, seltener Zirkon und Unbestimmtes zu beobachten. Einzelne Biotite sind von rostfarbigen, runden Flecken durchsetzt, die als Relikte von pleochroitischen Höfen gedeutet werden können.

Der Quarz erscheint zur Hauptsache in Form von Bruchsplittern, deren Entstehung auf Spannungen innerhalb des Kristallgitters zurückzuführen ist. Verschiedentlich treten aber auch bis zur Kugelform korrodierte Individuen auf, wie man sie aus Quarzporphyren kennt. Als idiomorphe Formen sind Kristalle mit gedrungenen, meist sehr reinen Prismen zu beobachten, die vielleicht Neubildungen darstellen. Im übrigen zeigt der Quarz Einschlüsse verschiedenster Art.

Unter den nicht häufig auftretenden Feldspäten Andesin und Sanidin ist der letztere der seltenere. Auch die Feldspäte zeigen meist Splitter-

bruchstücke wie der Quarz, und nur ausnahmsweise sind idiomorphe Formen angedeutet. Einzelne Individuen sind von einem ganzen Netz von Rissen durchsetzt, die auf Spannungen innerhalb des Kristallgitters hindeuten. Oft sind die Feldspäte von Einschlüssen erfüllt. Andesinzwillinge sind sehr selten.

Interessanterweise waren idiomorphe Dolomitrhomboeder festzustellen, allerdings nicht häufig. Diese können natürlich nur als Neubildungen gewertet werden.

b) Schwerermineralien

Hauptgemengeteil der Schwerermineralfraktion bilden Zirkon, Apatit, Melanit, Magnetit und Limonit, wobei der letztere am häufigsten vorhanden ist. Untergeordnet bis selten treten Baddeleyit, Pyrit, Turmalin und Rutil auf.

Ein hellrosa Zirkon und ein selten graugefärbter Apatit sind oft als sehr schöne, idiomorphe Kristalle in langgestreckten bis gedrungenen Prismen vorhanden. Daneben finden sich aber diese beiden Mineralien vielfach als Bruchstücke vor, sowie interessanterweise durch Lösungserscheinungen stark, bis zur Eiform korrodierte Individuen. Beide Mineralien enthalten viele, verschiedenartige Einschlüsse.

Der allgemein seltene Baddeleyit (Zirkonoxyd) ist hier in hellgelben, schmalen bis tafeligen Prismen sowie in Bruchstücken und körnigen Aggregaten anzutreffen. Dieses Mineral wurde vom Mineralogischen Institut der E.T.H. durch Herrn T. SCHNEIDER röntgenographisch bestimmt. Für diese zuvorkommende Freundlichkeit sei an dieser Stelle der beste Dank ausgesprochen.

Der Melanit ist häufig in verschiedenartigen, idiomorphen Formen vorhanden, wobei oft sechseckige Blättchen anzutreffen sind. Auch er zeigt starke Korrosionen durch Lösungserscheinungen. Merkwürdig ist dann aber, dass der Melanit hier deutliche Schmelzformen aufweist, wobei tropfenförmige und langgezogene, verbogene Gebilde zu beobachten sind.

Ferner tritt Magnetit in Oktaederform auf.

Der Limonit ist meist in unregelmässigen Körnern zu finden, tritt aber auch in Pseudomorphosen nach Pyrit auf. Ein brauner Turmalin und ein rotbrauner Rutil, die in dieser Sandfraktion nur selten vorhanden sind, bestehen meist nur aus Bruchstücken. Der ebenfalls hier seltsame Pyrit tritt in Würfel- und Oktaederform auf.

Ausser an der oberen und unteren Grenzfläche zeigt die Bentonitschicht des Küsnachter Tobels keine Einschwemmungsprodukte. So fehlen z. B. Muskowit, gemeiner Granat und überhaupt gerollte Mineralkörner sowie bentonitfremde Tonablagerungen. Das deutet darauf hin, dass diese Bentonitschicht aus den Ablagerungen eines reinen Aschenregens hervorgegangen ist.»

F. HOFMANN (1951) beschreibt aus unserem Untersuchungsgebiet Verkieselungen im Kohlenlager von Käpfnach und von Riedhof im Reppischtal. Er denkt an vulkanischen Ursprung dieser Verkieselungen und stellt deshalb die beiden Kohlenlager ins gleiche Niveau mit dem vulkanischen Tuffhorizont. Die beiden

Kohlenlager liegen aber stratigraphisch 210 m auseinander. Käpfnach liegt rund 170 m unter dem Bentonithorizont, Riedhof rund 40 m über dem Bentonithorizont vom Küsnachter Tobel. Weitere Verkieselungserscheinungen im limnischen Leitniveau sind mir nicht bekannt und dürften nur eine sehr untergeordnete Rolle spielen. Für die Verkieselungen in den beiden Kohlenlagern ist es übrigens keineswegs nötig, nur an vulkanische Erscheinungen zu denken.

Von besonderem Interesse ist der Fund eines Stückes verkieselten Schwemholzes von der Grösse eines Brotlaibes im Klautobel bei Berlikon (s. S. 179). Die Nagelfluhbank, in welcher es gefunden wurde, liegt stratigraphisch etwa 100 m über dem Niveau des «Appenzeller Granites». Es ist der einzige Horizont, in welchem wir verkieseltes Holz gefunden haben und liegt auf gleicher stratigraphischer Höhe wie der Bentonithorizont im Küsnachter Tobel. In einer kohligen Grundmasse liegen kleine, meist unter 0,1 mm grosse, idiomorphe, neugebildete Quarzkriställchen. Sie bilden ein dichtes Netzwerk, welches dem Fund seine Festigkeit verleiht. Die Rinde ist nicht verkieselt. Unseres Erachtens ist das Holz nicht im grünen Zustand, sondern erst später, bei der Vermoderung, verkieselt. Sowohl die petrographische Beschaffenheit wie auch die stratigraphische Lage des Fundes stimmen genau mit den Angaben von F. HOFMANN (1951) überein (vgl. S. 266).

Tonmineralogische und sedimentpetrographische Untersuchungen am Bentonit des Küsnachter Tobels

Mitteilung von F. HOFMANN, Schaffhausen, vom 4. Mai 1956

Mineralien grösser als 0,02 mm	3,15 %
Max. Korngrösse der Mineralkörner (Biotite etwas grösser)	um 0,1 mm
Karbonatgehalt	1,8 %
Hygroskopizität (Wassergehalt nach Lage an der Luft)	14,0 %
Basenaustauschvermögen	73,4 mval/100 g
Wassergehalt der formgerechten Mischung mit belg. Quarzsand 5 %	2,5 %
Druckfestigkeit, grün	875 g/cm ²
Druckfestigkeit, trocken	3,2 kg/cm ²

Leichtmineralien:

Biotit ist weitaus vorherrschend. Sehr untergeordnet Quarz. Feldspäte konnten nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden. Identisch mit Jonentobel.

Schweremineralien:

Apatit	33	
Zirkon	18	
Rutil	—	Typisch apatitisch, wie Jonentobel. Etwas mehr Erz.
Turmalin	2	
Erz	45	

Sedimentationsanalyse:

Sehr grobdispers, wie Jonentobel.

Gesamtbefund:

Identisch mit den Bentoniten des Jonentobels und damit mit der jüngsten Phase der ostschweizerischen Eruptionen. Etwas weniger windgesichtet? : mehr Erz, mehr Mineralkörner über 0,02 mm.

C. Fossilfunde

In der Zürcher Molasse liessen sich nirgends eindeutige marine Ablagerungen nachweisen. Die Fossilfunde beschränken sich ausschliesslich auf Land- und Süsswassertiere und Land- und Süsswasserpflanzen. Nun sind limno-fluviatile und terrestrische Ablagerungen im allgemeinen ausserordentlich arm an Fossilien. Der Grossteil der Molasseschichten ist überhaupt fossilleer. Die Fossilfunde sind an ganz bestimmte Niveaus gebunden: An die rein limnischen Ablagerungen, wie Stinkkalk, bituminöse limnische Mergel, ferner die bituminösen schwarzen und braunen Mergel, feinstgeschichtete Mergel, grüne Mergel, selten auch die Knollenkalke. Gewisse Sandsteinhorizonte, insbesondere glimmerreiche Sandsteine und Glimmersandsteine, ebenso gewisse Nagelfluhen enthalten häufig eingeschwemmtes organisches Material, kohlige Pflanzenreste (s. S. 170) und Knochenreste, Schnecken- und Muschelschalen oder Trümmer von solchen.

1. Fauna

Die Fossilfunde lassen sich wie folgt gliedern:

a) Wirbeltiere

In unserem Untersuchungsgebiet sind zwei Fundstellen seit langem bekannt, welche eine relativ reiche Fauna geliefert haben: Schwamendingen (alte Ziegelei) und das Kohlenlager von Käpfnach. Das Kohlenbergwerk Käpfnach ist heute im Verfall begriffen, von den Mergelgruben der alten Ziegelei Schwamendingen ist längst nichts mehr zu erkennen. Bedeutsam sind für uns vor allem die Säugetierfunde in den Mergeln der Ziegelei Schwamendingen, denn diese Fundstelle liegt im limnischen Leitniveau der Zürcher Molasse. Das Kohlenlager von Käpfnach liegt stratigraphisch mehr als 200 m unter dem Niveau von Schwamendingen.

Nach den Angaben von H. G. STEHLIN in der Geologie der Schweiz von ALB. HEIM (1919) haben die beiden Fundstellen im Laufe der Jahrzehnte und Jahrhunderte folgende Säugetierarten geliefert:

Schwamendingen:	Insektivoren:	<i>Galerix exilis</i> Blv. Insectivor. gen. et spec. nova <i>Talpide</i> indet.
	Nager:	<i>Sciurus</i> spec. <i>Eomyde</i> gen. (?) et spec. nova <i>Cricetodon rhodanicum</i> Depéret <i>Cricetodon</i> cfr. <i>medium</i> Lartet <i>Lagopsis verus</i> Hensel
	Suiden:	<i>Hyotherium</i> spec. indet.
	Traguliden:	<i>Dorcatherium</i> , kleiner als <i>guntianum</i> Myr.
	Pecora:	<i>Dicroceros elegans</i> Lartet <i>Lagomeryx</i> , kleiner als <i>Meyeri</i>
	Perissodaktylen:	<i>Rhinoceros</i> spec. indet.

Alter der Fundstelle: Vindobonien s. I.

Käpfnach:	Nager:	<i>Stenofiber Jaegeri</i> Kaup
	Karnivoren:	<i>Trochictis carbonaria</i> Myr. <i>Mustelide</i> cfr. <i>Lutra dubia</i> de Blainville
	Pecora:	<i>Dicroceros furcatus</i> Hensel <i>Orygotherium Escheri</i> Myr. <i>Amphimoschus lunatus</i> Myr. <i>Lagomeryx</i> , kleiner als <i>Meyeri</i>
	Proboszidier:	<i>Mastodon turicensis</i> Schinz <i>Mastodon angustidens</i> Cuv.
	Perissodaktylen:	<i>Anchitherium aurelianense</i> Cuv. <i>Rhinoceros</i> spec.

Alter der Fundstelle: Vindobonien s. I.

Sagentobel (E Zürichberg):

Im Sagentobel konnten wir auf Kote 510 m stratigraphisch 30 m über dem limnischen Leitniveau eine weitere Wirbeltierfundstelle, u. a. reich an Zähnchen von Kleinsäugetern und leicht ausbeutbar, entdecken. Es handelt sich um zusammengeschwemmtes Material im Hangenden der Glimmermergelzone vom Sagentobel. Eine Bestimmung der Säugetierzähnen, die Herr Dr. J. HÜRZELER, Basel, in freundlicher Weise durchgeführt hat, ergab folgende Säugetierformen (briefliche Mitteilung an Herrn Prof. Dr. E. KUHN-SCHNYDER vom 5. Dezember 1955):

1. Soricide indet. (Spitzmaus)
2. ? *Lanthanotherium* spec. (Igel)
3. Insectivor indet.
4. Sciuride I (gross) (Eichhörnchen)
5. Sciuride II (klein) (Eichhörnchen)
6. *Dryomys hamadrya* Major (Siebenschläfer)
7. *Cricetodon sansaniensis* Lartet
8. *Cricetodon minus* Lartet (Hamster)
9. *Cricetodon helveticum* Schaub
10. *Lagopsis verus* Hensel (Pfeifhase)

Herr Dr. J. HÜRZELER schreibt dazu: «Diese kleine Fauna gehört ins obere Vindobonien (Tortonien). Eine kleine Korrektur könnte sich bei einer sehr viel grösseren Fossilserie ergeben. Dann wäre es auch möglich (vielleicht) das geologische Alter noch etwas präziser anzugeben.» Neben den Säugetierzähnen finden sich auch Fischzähnen und Fischwirbel in grosser Zahl. Es konnten auch mehrere Bruchstücke von Kieferchen gefunden werden. Schildkrötenreste sind häufig.

Die Fundstelle liefert uns durch ihre geschlossene Faunengruppierung wertvolle Angaben über das Landschaftsbild der damaligen Zeit, welches allerdings nicht allzuweit verallgemeinert werden darf, sondern eher lokale Verhältnisse im Bereich der Üetlibergmulde widerspiegelt: Es war eine lockere Waldlandschaft am Ufer eines sehr flachgründigen Sees (*Chara*, Bithynien, grosse Lymnaeen, Fische). Das Ufer war sumpfig, mit Schilf und anderen Gräsern bestan-

den. Die idyllische Landschaft, die wohl mehrere tausend Jahre bestanden haben mag, wurde durch eine Überflutungskatastrophe zerstört. Sand und Schlamm überdeckten in immer neuen Vorstössen weiträumig die Oberfläche und bildeten eine trostlose, eher lebensfeindliche Schwemmlandebene. Zeugen dieser Überflutung sind die Sandsteine und Mergel im Hangenden der Glimmermergelzone. An der Basis des Sandsteines, welcher der ersten Überflutung entspricht, liegt unsere Fundstelle. Er enthält u. a. das organische Material, welches durch die Überflutung zerstört und zusammengeschwemmt wurde.

Die Fundstelle wird durch das Paläontologische Institut der Universität Zürich, unter der Leitung von Prof. Dr. E. KUHN, weiter ausgebeutet und untersucht werden.

Weitere Wirbeltierfunde: In der Zürcher Molasse sind ganz vereinzelt an verschiedenen Stellen Reste von Wirbeltieren gefunden worden, so im Bergwerk Rossweg, beim Bau des Oerlikontunnels, beim Schulhaus Gubel in Oerlikon, im Rötel (ALB. HEIM, 1919), im limnischen Leitniveau am Wehrenbach (Krokodilzähne); Panzer einer Riesenschildkröte (B. PEYER, 1942), *Amphicyon*-Zahn, gefunden durch Herrn Prof. Dr. H. SUTER, Zürich (mündliche Mitteilung), Säugerzahn, Röhrenknochen und andere Knochenresten gesammelt 1938 durch Herrn Dr. W. EPPRECHT, Zürich, alle im Glimmersandstein «Bei den Fuchslöchern» am Buchhoger an der Strasse NW Uitikon zwischen Pkt. 564,1 und Pkt. 573.

Im folgenden sei auf ein paar wichtige Wirbeltierfunde und -fundstellen hingewiesen, die wir im Laufe unserer Untersuchungen entdeckt haben:

Unterkiefer von *Palaeomeryx* mit fünf Zähnen.

Länge der Krone von $M_3 = 3,3$ cm

Länge der Krone von $M_2 = 2,2$ cm

Länge der Krone von $M_1 = 1,7$ cm

Länge der Krone von $P_4 = 1,8$ cm

Länge der Krone von $P_3 = 1,8$ cm

Fundort: Falätsche Kote 593 m in roten Mergeln.

Grössere Knochenreste, Stück eines grossen Schildkrötenpanzers, *Palaeomeryx*-Zahn in Knauersandsteinbank, rechter Sihlhang Kote 490 m gegenüber Station Gontenbach.

Knochensplitter in limnischen bituminösen Mergeln, Entlisberg W-Hang Kote 476 m.

Rückenpanzer und halber Bauchpanzer einer Landschildkröte. Diese wurde von Herrn Dr. H. BRÄM, Embrach, in freundlicher Weise präpariert und so weit bis jetzt möglich bestimmt. Es handelt sich wahrscheinlich um ein junges Tier der Gattung *Testudo*. Fundort: Klautobel S Berlikon Kote 451 m (Koord. 702,53/233,85) in hellgrauen, dichten Mergeln, zusammen mit Heliziden.

Knochenreste in bituminösen, kohligen Mergeln, die das Liegende der mächtigen Nagelfluhbank im Tobel SW Itzikon Kote 492 m (Koord. 700,72/237,29) bilden.

Knochenreste und Zähnchen im Sandstein zusammen mit limnischen Schnecken SE der Strasse Grüningen-Itzikon, am Weg von Rifacker nach Hanfgarten Kote 495 m (Koord. 700,83/238,48).

Rhinoceros spec. Bruchstücke eines Zahns in den bunten Mergeln Kote 560 m unter der Nagelfluh-Knauersandsteinbank im Schiffli S Dorf Sihlbrugg.

b) Krebse

In den limnischen, knolligkalkigen Mergeln am Entlisberg-W-Hang, auf Kote 475 m, fanden sich nicht selten gut erhaltene Stücke von Krebscherenspitzen, eine ganze Krebschere und andere unbestimmbare Reste von Krebspanzern.

c) Muscheln und Schnecken

1. Terrestrische Schnecken:

Heliziden; häufig in den hellgrauen Helizidenmergeln (s. S. 138) und in den bituminösen Mergeln, die in der Überschwemmungsfazies eingelagert sind.

2. Limnische Schnecken und Muscheln:

Unio flabellatus, prächtig erhaltene linke und rechte Schale zusammenhängend an der Basis des Knauersandsteins, rechter Sihlhang Kote 495 m, am Bach, der vom Vorderen Längenmoos herunterfließt. Muscheln findet man ebenfalls in den limnischen Mergeln am Entlisberg und in der Doldertobelzone (s. S. 254).

Grosse und kleine Planorbisarten, Melanien und Limnaeen überall in den limnischen Horizonten der Zürcher Molasse (s. S. 253). Häufig findet man auch Bithynien-Deckel, ohne die entsprechenden Gehäuse anzutreffen.

Beispiele limnischer Fossilfundstellen im Gebiet der Glattalschwelle:

Tobel SW Itzikon Kote 492 m (Koord. 700,72/237,29). Sandstein über schwärzlichen Kohlenmergeln im Liegenden der grossen Nagelfluhbank. Muscheln, Melanien, Limnaeen.

Wegeinschnitt SE der Strasse Grüningen-Ottikon, am Weg von Rifacker nach Hanfgarten Kote 495 m (Koord. 700,83/238,48). Mergelgeröllhorizont in Sandstein mit Melanien, Limnaeen, Muscheln und Knochenresten.

2. Flora

O. HEER (1855) erwähnt in seiner «Flora tertiaria Helvetiae», Band III, drei Pflanzenfundstellen, die in unserem Untersuchungsgebiet liegen: Albis, Schwamendingen und Horgen. Die Lage der Fundstellen wird leider nicht näher angegeben. Unter der Bezeichnung «Albis» ist wohl die Fundstelle an der Albisstrasse gegen Türlen hinunter «fünf Minuten unterhalb ihrer höchsten Stelle» (A. ESCHER VON DER LINTH, 1844) gemeint. Sie ist weitaus die reichste Pflanzenfundstelle in unserem Gebiet. Nach den Angaben von O. HEER (l. c.) wurden hier 33 Pflanzenarten, alles Dikotyledonen, gefunden. Der Sandstein ist heute nicht mehr aufgeschlossen. «Horgen» bedeutet wohl das Kohlenlager von Käpfnach. O. HEER führt zwei Arten an (*Palmacites*, *Phragmites*). Unter «Schwamendingen» ist ziemlich sicher das limnische Leitniveau bei der Ziegelhütte verstanden. Von den vier Pflanzenarten, die O. HEER von dieser Fundstelle erwähnt, sind denn auch drei Chara-Arten. Es sei an dieser Stelle auch auf die Arbeit von E. LETSCH (1899) hingewiesen, die verschiedentlich Hinweise auf Fossilfunde in unserem Untersuchungsgebiet enthält.

Unsere eigenen Funde lassen sich wie folgt gliedern:

a) Dikotyledonen

Salix Lavateri A. Braun in den bunten, feinstgeschichteten Mergeln in der SE Falätsche Kote 610 m. Prachtvoll erhaltenes Blatt zusammen mit *Phragmites*.

Platanus aceroides in hellgrauem, feinem Sandstein der Falätsche etwa Kote 560—580 m, gesammelt von Prof. Dr. BERNHARD, Oberrealschule Zürich. Beide Funde wurden von Dr. R. HANTKE, Geologisches Institut der E.T.H., in freundlicher Weise bestimmt.

Cinnamomum spec., Blatt aus einem Knauer, Falätsche Kote 695 m.

Cinnamomophyllum, *Salix Lavateri* A. Braun, gut erhaltene Blätter in Schmitzen feinen Sandsteins in der Nagelfluhbank über dem Wetterkalk von Hombrechtikon bei Redlikon Pkt. 563,1 (Koord. 698,25/234,12). Die Blätter kommen zusammen mit häufigen monokotylen und weiteren nicht bestimmbar dikotylen Blattresten vor. Die Nagelfluh selbst führt häufig nestartig allochthone Kohlenstücke, fossile Äste und Stammstücke von über zwei Meter Länge.

Leguminose, Blattrest im Meilener Kalk. Wegeinschnitt SE der Strasse Grüningen-Ottikon, am Weg von Rifacker nach Hanfgarten Kote 495 m (Koord. 700,83/238,48).

b) Monokotyledonen

Stück eines verkieselten Palmstammes, etwas plattgedrückt, von der Form und Grösse eines Brotlaibes. Kohleführende Nagelfluh im Klaustobel bei Berlikon Kote 453 m (Koord. 702,58/233,89).

Phragmites, Blattreste und wahrscheinlich auch Wurzeln häufig, direkt typisch für die bunten, feinstgeschichteten Mergel (Phragmitesmergel). Zum Beispiel Falätsche Kote 547 m, 620 m, 667 m; Entlisberg Kote 463—465 m, Glimmermergel im Sagentobel Kote 505 m.

Abdrücke von Gräsern in Sandsteinschmitzen in der kohleführenden Nagelfluh bei Brehen N Auf Dorf (Männedorf) Pkt. 642 (Koord. 695,65/235,80).

Gramineen-Ähre zusammen mit häufigen Blattabdrücken von Gräsern, in Sandsteinschmitze in der oben erwähnten Nagelfluh bei Redlikon, Pkt. 563,1 (Koord. 698,25/234,12). Es handelt sich um eine sehr schön erhaltene, mehrzeilige Ähre. Die Ährchen sind einzeln. Ihre gute Erhaltung ist dem Umstand zu verdanken, dass die reifen Körner zum grössten Teil herausgefallen sind, bevor die Ähre im Sand eingebettet wurde. Dieser feine Sand nimmt heute den Platz der meisten Körner ein. Die übrigen Körner sind verkohlt. Von der Spitze bis zum Grund der Ähre kann man etwa 16 Körnerreihen zählen. Die Länge eines einzelnen Kornes beträgt etwa 4 mm, die Grannenlänge etwa 2 cm, die Gesamtlänge der Ähre 7,5 cm. Die Ähre gleicht einer Roggenähre. Das Erstaunliche an diesem Fund ist die Grösse der Körner, die durchaus mit der Grösse heutiger Getreidekörner vergleichbar ist. Man muss also annehmen, dass es schon in der Tertiärzeit, im obern Miozän, Getreidesorten ähnlich denen von heute gab und dass unsere Getreidesorten eine Auslese darstellen.

Typha latissima, prachtvolle Blattabdrücke im Meilener Kalk beim Wegeinschnitt SE der Strasse Grüningen-Ottikon, am Weg von Rifacker nach Hanfgarten Kote 495 m (Koord. 700,83/238,48). Die Geologische Sammlung der E.T.H. enthält genau gleiche Stücke des Meilener Kalkes mit *Typha latissima* vom Hüllstein. Heute ist am Hüllstein von der Pflanzenfundstelle (vgl. auch O. HERBERT, 1907) nichts mehr zu sehen. Die Stücke in der Geologischen Sammlung aber sind uns eine weitere Bestätigung für die Identität des beigefarbenen Mergelkalkes (Meilener Kalk) mit dem beigefarbenen Mergelkalk im Niveau des «Appenzeller Granites».

c) Algen

Characeen: Oogonien, grosse (*Chara Meriani*) und kleine (*Chara Escheri*). Sehr häufig in limnischen Kalken und in den limnischen Horizonten überhaupt. Prachtvoll erhalten zum Beispiel im Kalk am Hang E Station Urdorf Kote 465 m. Massenhaft zusammengeschwemmt an der Basis des Sandsteins der Wirbeltierfundstelle im Sagentobel (s. oben).

Characeen: Vegetative Teile. Abdrücke in plattigen, hellbraunen Stinkkalken stellenweise sehr häufig, zum Teil am Aufbau des Kalkes beteiligt. Zum Beispiel limnisches Leitniveau am Rütchlibach Kote 520 m und am Entlisberg Kote 470 m. Plattiger Stinkkalk, Buchholz W Urdorf Kote 460 m (Koord. 672,77/249,33).

Blualgen (*Rivularia*): Kalkalgenknollen, erbs- bis faustgross, verbacken zu einer $\frac{1}{2}$ m mächtigen Algenkalkbank.

Fundort: Bach SE Wolfenriet Kote 530 m (Koord. 696,25/237,23).

Die Algenvorkommen sind uns darum besonders wichtig, weil sie uns wertvolle Anhaltspunkte über das Ablagerungsmilieu, über die faziellen und paläogeographischen Verhältnisse liefern.

3. Das Alter der Zürcher Molasse

Es ist uns gelungen, die stratigraphische Stellung der Zürcher Molasse sehr genau mit derjenigen der OSM der Ostschweiz und insbesondere mit dem Untersuchungsgebiet von F. HOFMANN (1951) zu vergleichen (vgl. S. 266ff). Andererseits ist es heute möglich, mit Hilfe vulkanischer Tuffe und Tuffite, die F. HOFMANN (1955a, 1955b) in der OSM der Ostschweiz entdeckt und im Hegaugebiet z. T. neu bearbeitet hat, die thurgauisch-st. gallische OSM und die OSM des Hegau, wenigstens im Bentonitniveau stratigraphisch zu korrelieren. Damit wird es auch möglich, an die Untersuchungen der süddeutschen Molassegeologen (W. SIEGL, 1948; R. DEHM, 1951; K. LEMCKE und Mitarbeiter, 1953; G. ABELE und Mitarbeiter, 1955; W. STEPHAN, 1955) anzuknüpfen. Von besonderer Bedeutung ist das Bischofszeller Bentonitniveau, das auch im Hegau und am Heiligenberg z. T. seit langer Zeit bekannt ist. Auf stratigraphischem Wege konnten wir beweisen, dass der Küssnacher Bentonit identisch ist mit dem Bischofszeller Tuffhorizont (s. S. 267). Damit ist die OSM vom Bodensee bis zum Zürichsee zwischen dem Niveau des Meilener Kalkes (Niveau des «Appenzeller Granites») und dem Bentonitniveau eingespannt. Dass die süddeutschen Stufenbezeichnungen (F. HOFMANN, 1951, 1955a, 1955b; E. JÖRG, 1953) unzulänglich sind, haben wir durch unsere Untersuchungen nachgewiesen (s. S. 151, 268).

Nachdem so auf stratigraphischem Wege ein erster Zusammenhang hergestellt ist, stellt sich nun die Frage nach dem geologischen Alter der Zürcher Molasse um so spannender. Nach den Untersuchungen und Auffassungen der süddeutschen Geologen (l. c.) dürfte die sogenannte «A-Grenze»⁸⁾ etwa mit der Grenze Torton-Sarmat zusammenfallen. Über eine «A-Grenze» wissen wir in der schweizerischen OSM aber bis heute nichts, da systematische Untersuchungen in dieser Hinsicht fehlen. Nun konnten aber direkt im Liegenden der genannten «A-Grenze» saure Glasaschentuffe ge-

⁸⁾ In der OSM des süddeutschen Molassebeckens sind im Verlaufe der Erdölprospektion sehr weitreichende und eingehende, systematische sedimentpetrographische Untersuchungen durchgeführt worden. Insbesondere liessen sich aus dem grossen Analysenmaterial gewisse gesetzmässige Veränderungen und Schwankungen im Schwermineralgehalt der Sedimente der OSM herauslesen. Besonders wichtig erwies sich die Änderung des Granatgehaltes im Vergleich zu den übrigen Schwermineralien. «Dieser steigt von der OSM-Basis ab nach oben zunächst stetig an; nach Überschreitung eines wenig typischen Maximums sinkt er, durchschnittlich etwa 260 m über der OSM-Unterkante, relativ rasch auf einen tiefern Wert ab, den er sodann beibehält... In diesem überall ähnlichen, bleibenden Absinken des Gehaltes an Granat, also an einem der Hauptschwermineralien dieser Schüttung, kommt eine geringe, aber offenbar regionale Zufuhränderung zum Ausdruck, die jedoch die Granat-Epidot-Vormacht als solche nicht beseitigt. Ihre jeweilige Lage im OSM-Profil wurde als «A - G r e n z e» bezeichnet und für Korrelierungen benutzt... Der sich mit ihr vollziehende Wechsel in der Sedimentation wird besonders gut am Zoisitgehalt erkennbar. Dieser

funden werden, die ohne Zweifel dem Bischofszeller Bentonit entsprechen dürften.

In der Zürcher Molasse würde somit die «A-Grenze» im Sinne der süddeutschen Molassegeologen sehr genau mit dem Beginn der Ophiolithschüttung vom Sihl-zopf (s. S. 256, 264) zusammenfallen, d. h. an die Basis der Zürich-Schichten zu liegen kommen.

Die Meilener Schichten wären somit noch ins Torton, die Zürich-Schichten bereits ins Sarmat zu stellen. Nach den gleichen Autoren (K. LEMCKE und Mitarbeiter, 1953) liegt im zentralen Trogteil der süddeutschen OSM, wo sich die Mächtigkeiten der OSM grössenordnungsmässig durchaus mit der OSM der Ostschweiz und damit auch mit der Zürcher Molasse vergleichen lassen, die «Sarmat-Pont-Grenze» stratigraphisch rund 200—250 m über der «A-Grenze». Nun sind aber am Üetliberg über der Basis der Zürich-Schichten Molasse-schichten in 330—350 m Mächtigkeit vorhanden. Die obersten Schichten der Zürcher Molasse am Üetliberg dürften daher nach dieser Auffassung aus stratigraphischen Gründen ins Pont gestellt werden. Für die oberste Geröllschüttung im Albis-Üetlibergkamm nimmt R. STAUB (1952, Tabelle II) spätpontisches Alter an. Dass die höchsten Molasseschichten am Üetliberg pontisches Alter besitzen, geht auch aus den Hipparion-Funden in der OSM im Hegau hervor (H. TOBIEN, 1938, 1951). Tatsächlich sprechen alle stratigraphischen Vergleiche dafür, dass die höchsten Molasseschichten am Üetliberg, am Hörnli, am Tannenbergl, am Gehrenbergl und im Hegau die gleiche Stellung einnehmen, sich entsprechen und somit gleich alt sein dürften. In diesem Sinne vergleichend würde das für die Zürcher Molasse heissen:

Üetliberg-Schichten	= Pont
Pfannenstiel-Schichten	} = Sarmat
Zürich-Schichten	
Meilener Schichten	= Torton

nimmt von der Unterkante der OSM an zunächst gleichmässig zu und sinkt dann ebenso gleichmässig wieder ab, bis er etwa an der A-Grenze fast den Wert 0 erreicht» (zitiert nach K. LEMCKE u. a., 1953, S. 52; vgl. auch H. FÜCHTBAUER, 1953). Diese Autoren betonen den Charakter der A-Grenze als Zeitmarke (isochroner Horizont). Inwieweit aber die Veränderungen im Bild des Schweremineralegehaltes wirklich nur auf verschiedener Herkunft des Schüttungsmateriales beruhen, ist fraglich. Man vergleiche diesbezüglich unsere Ausführungen auf Seite 152. Unseres Erachtens dürften Aufarbeitungsvorgänge, Geschwindigkeit der Sedimentation (rasches Einsedimentieren oder langes Liegenbleiben und damit kräftiger Einfluss der Verwitterung), eventuell auch klimatische Änderungen von entscheidendem Einfluss sein, ganz besonders auch auf die Verteilung des so wichtigen Granates, der relativ verwitterungsempfindlich, dagegen umlagerungsresistent ist. In Bezug auf das Verhalten des Granates bei der Sedimentation sei auf die sehr aufschlussreichen Ausführungen von E. SCHMEER (1953) hingewiesen. Diese Autorin kommt zum Schluss, dass die A-Grenze heterochronen Charakter besitze.

Für die Säugetierfundstelle im Sagentobel gibt Dr. J. HÜRZELER, Basel, torton's Alter an. Damit ergibt sich aber bereits eine erste Komplikation, denn die Fundstelle im Sagentobel liegt mitten in den Zürich-Schichten, denen nach obenstehender Gliederung sarmatisches Alter zukäme. Es ist zu betonen, dass die altersmässige Gliederung der OSM, wie sie die süd-deutschen Autoren (K. LEMCKE u. a., 1953) annehmen, nur auf etwa zwei Funden beruht und somit mit gebührender Vorsicht aufzunehmen ist. Die obenstehende Gliederung ist als reiner Vergleich gedacht und soll keineswegs als gesicherte Tatsache betrachtet werden, wie das auch aus unseren Ausführungen weiter unten hervorgeht.

Überhaupt ist die Anwendung der Stufenbezeichnungen Torton und Sarmat für die OSM unbefriedigend. Nicht nur werden sie von verschiedenen Autoren verschieden verwendet, sie sind auch nicht einheitlich definiert. Die Anwendung marin definierter Stufenbezeichnungen wie Torton auf die festländische OSM ist prinzipiell abzulehnen, solange nicht eine eindeutige säugetierpaläontologische Korrelation besteht. Heute sind beträchtliche Abweichungen in den Auffassungen über die Anwendung der Stufenbezeichnungen vorhanden. Torton und Sarmat werden vom Wiener Becken her als zwei zeitlich aufeinanderfolgende Stufen angenommen. M. GIGNOUX (1950) gebraucht sie als zwei fazielle Begriffe, um die marine und brackische Ausbildung des oberen Vindoboniens auseinanderzuhalten. Wie weit die Auffassungen sich unterscheiden zeigt folgende Gegenüberstellung:

	Nach M. GIGNOUX (1950)	Nach K. FRIEDL (1927)	
Pliozän			
Miozän	Pontien (festländisch)	Pont	unteres Pliozän
	= Tortonien (marin)	Pannon	
	Oberes Vindobonien = Sarmatien (brackisch)	Sarmat	Miozän
		Torton	
	Unteres Vindobonien = Helvetien (marin)	Helvet	
	Burdigalien (marin)	Burdigal	
oberes Oligozän	Aquitanien	Aquitän	

Relativ günstig stehen die Aussichten für eine Verwendung der Stufenbezeichnung Sarmat auch in der OSM der Schweiz, indem diese Stufe seinerzeit von E. SUSS (1866), auf welchen die Bezeichnung Sarmat zurückgeht, recht genau definiert und umschrieben wurde, und zwar in doppelter Hinsicht, sowohl in lokalstratigraphischer als auch in säugetierpaläontologischer Hinsicht. Das Sarmat umfasst nach E. SUSS die brackischen Schichten im Hangenden der «II. marinen Fauna im Wiener Becken (= Torton)» und im Liegenden der Congerienschichten; es wird aber anderseits nach E. SUSS durch

die «erste Säugetierfauna des Wiener Beckens» (mit *Mastodon angustidens* Cuvier, usw.) charakterisiert. Diese letztere, sozusagen internationale Definierung ist für uns besonders wichtig. Später wurde der Begriff Sarmat erweitert, indem auch hangende Schichtserien einbezogen wurden (Cherson, sogenanntes Obersarmat). Das russische Obersarmat führt jedoch bereits *Hipparion* und *Mastodon longirostris* Kaup, somit Formen, die bereits zur «zweiten Säugetierfauna des Wiener Beckens» gehören. Wir wollen uns an die ursprüngliche Definierung von E. SUESS halten.

Es besteht heute wohl kein Zweifel, dass die Lösung für eine altersmässige Gliederung der mächtigen Sedimentserien der OSM nur mit Hilfe säugetierpaläontologischer Untersuchungen gefunden werden kann. Landschnecken kommen dafür nicht in Betracht. Nun sind aber Säugetierfunde recht spärlich und zum Teil noch wenig untersucht. Um so grössere Bedeutung kommt den drei oben beschriebenen wichtigen Säugetierfundstellen in unserem Untersuchungsgebiet, Käpfnach, Schwamendingen und Sagentobel, zu, deren gegenseitige stratigraphische Lage eindeutig abgeklärt werden konnte. Des weiteren wurde es durch unsere Untersuchungen möglich (vgl. S. 266ff.), die OSM der Ostschweiz in sehr genaue Beziehung zu diesen Fundstellen zu bringen und über die OSM der Ostschweiz die Verbindung mit der OSM des westlichen Teiles des süddeutschen Molassebeckens herzustellen.

Die Säugetierfundstelle im Sagentobel liegt stratigraphisch 250 m, die Fundstelle Ziegelei Schwamendingen stratigraphisch 210 m über dem Kohlenlager von Käpfnach. Somit liegt ein sehr grosser Zeitraum zwischen den beiden erstgenannten Fundstellen und Käpfnach. *Anchitherium aurelianense* Cuvier kommt in Käpfnach vor. Die Fundstelle ist somit noch ins obere Vindobon zu stellen. Ebenso ist von Käpfnach *Mastodon angustidens* Cuvier bekannt. Inwieweit engere Beziehungen zur I. Säugetierfauna des Wiener Beckens bestehen, müsste noch abgeklärt werden. Die Verhältnisse in der Zürcher Molasse führen uns zu folgenden Feststellungen:

1. Torton ist in der Zürcher Molasse sicher vorhanden.
2. Sarmat im Sinne von E. SUESS (1866) dürfte in der Zürcher Molasse ebenfalls vorhanden sein. Wahrscheinlich ist das Sarmat im Sinne von E. SUESS zu einem guten Teil dem oberen Torton im Sinne der Bestimmungen von J. HÜRZELER gleichzusetzen.
3. Dieser Umstand und die Feststellung, dass die höchsten Schichten der OSM am Üetliberg, Hörnli, Tannenbergl, Gehrenbergl und im Hegau, wo das pontische Alter durch *Hipparion*-Funde erwiesen ist, stratigraphisch einander entsprechen, bekräftigen die Ansicht, dass die Üetliberg-Schichten pontisches Alter besitzen.

D. Zusammenfassende fazielle Betrachtungen

Aus der Lithologie der Zürcher Molasse und auf Grund der verschiedenen Fossilfunde ist es uns möglich, ein Bild von den Verhältnissen zur Zeit der Ablagerung der Molasseschichten zu entwerfen. Als erstes ist festzustellen,

dass in den gesamten 600 m mächtigen Molasseschichten, die in unserm Untersuchungsgebiet aufgeschlossen sind, und überhaupt in der ganzen OSM, die im Zürichseeraum ungefähr 800—900 m mächtig sein dürfte, die faziellen Verhältnisse eine ganz erstaunliche Gleichmässigkeit aufweisen. Irgendwelche wesentliche Unterschiede in der generellen faziellen Ausbildung zwischen den tiefern und höhern 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 Molasse-sedimentation im grossen stets die gleichen gewesen sein. So zeigen die Knauer-sandstein- und Nagelfluhrinnen, welche in unserm 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 N über das Gebiet des heutigen Faltenjuras hinweg, welcher damals noch nicht existierte. Zudem lag der miozäne Alpenrand noch beträchtlich weiter im S als heute. Die Schwemmlandebene reichte von Lyon im W bis gegen Wien im E. Die Existenz einer so weiten, flachen, kaum durchtalteten Ebene während vielen Jahrmillionen und die Tatsache, dass es trotz der allmählichen Anhäufung mächtiger Sedimentmassen nie zu einer stärkeren Durchtaltung gekommen ist, die Ablagerungshöhe somit nur unbedeutende Schwankungen erfuhr, zwingen uns zu der Annahme, dass der Molassetrog der jüngeren Miozänzeit sich langsam, aber ständig abgesenkt haben muss. Diese Absenkung 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, wie wir noch sehen werden (s. S. 291ff.), in gewissen Zonen, wenigstens zeitweise, stärker als in den übrigen Gebieten. Diese Absenkungen haben in erster Linie die Verteilung des Geschiebmaterials im Vorland draussen dirigiert und so das Bild der Molassesedimentation gezeichnet. Damit sei die grosse Bedeutung der Hebungen im alpinen Hinterland keineswegs herabgemindert; denn durch sie wurde ja die Geschiebeführung der Flüsse bestimmt.

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 der OSM nicht viel über Meereshöhe erfolgte. Das geht erstens daraus hervor, dass nach der Ablagerung der OSM, die faziell der OSM sehr ähnlich ist, zur Zeit des Burdigals und Helvets ein lang andauernder

Meereseinbruch erfolgte. Dieses Meer war ein ausgesprochenes Flachmeer. Im Mündungsgebiet des Urrheins aber (d. h. im Hörnlifächer), wurde gleichzeitig, sicher nur wenig über Meereshöhe, noch Süswassermolasse abgelagert, deren Nagelfluhen, Sandsteine und Mergel sich durch nichts von der OSM unterscheiden. Die Bedingungen der Sedimentation waren hier schon im Burdigal die gleichen wie im Torton-Sarmat. Das geht aus der identischen Fazies eindeutig hervor. Für die burdigale Süswassermolasse wissen wir, dass sie nur wenig über Meeresebene abgelagert wurde, da im N, E und W das Meer lag. Also dürfen wir mit einiger Wahrscheinlichkeit eine nur geringe Höhe über Meer auch für die sich direkt anschliessende Ablagerung der OSM annehmen. Es gibt auch keine Gründe, die gegen eine solche Auffassung sprechen würden. Es ist übrigens seit langem eine allgemeine Auffassung, dass das Molassebecken sich aus einem meernahen Niveau um sehr beträchtliche Beträge emporgehoben habe (s. u. a. R. STAUB, 1934a, S. 175).

Die Schwemmlandebene im Vorland der Alpen wurde, sei es im Gefolge von Hochwasser oder von Absenkungsvorgängen im Molassetrog, immer wieder von grossen Überschwemmungen heimgesucht, während welchen vorwiegend die mergelhaltigen Gesteine der Molasse abgelagert wurden. Auf diese Überschwemmungsperioden folgten Zeitabschnitte, in denen weite Landstriche vollständig trocken lagen. Das vorhandene Wasser sammelte sich in vereinzelt Rinnsalen, 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 Mergelgerölle 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. Sie sind darum in typischer Ausbildung mergelfrei. Gegen die liegenden Schichten sind sie stets durch eine scharfe Fläche (Erosionsdiskordanz) abgegrenzt. Gegen das Hangende finden wir stets allmähliche Übergänge.

Grobe Materialführung deutet auf eine verstärkte Strömung und Transportkraft des Wassers hin. Grobe Materialführung muss aber, wenigstens im Falle der Zürcher Molasse, keineswegs mit einer grösseren Schüttungsintensität der Molasseflüsse zusammenhängen, wie das heute allgemein angenommen wird. Im Gegenteil betrachten wir ausgesprochene Knauersandsteine mit häufiger Sekundärrinnenbildung als Ablagerungen relativ ruhiger Perioden, in denen kaum eine Sedimentation stattfand. In einer schüttungsintensiven Periode kommt es kaum zu häufiger Sekundärrinnenbildung im Flussbett. Warum wurde dennoch grobes Material abgelagert? Dies lässt sich dadurch erklären, dass gerade in diesen Perioden sich das vorhandene Wasser auf vereinzelte Rinnen konzentrierte und in diesen die notwendige Strömung und Transportkraft entfalten konnte. 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 sozusagen 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 karbonatarmer Schichten, fossile Trockenrisse u. a. können in den Molassesedimenten häufig beobachtet werden. Dass es sich im allgemeinen auch bei den Verfärbungen wirklich um fossile Verwitterungerscheinungen handelt, geht daraus hervor, dass bestimmte gefärbte Horizonte auf grössere Distanzen durchziehen können, gegen das Hangende und Liegende jedoch scharf abgegrenzt sind. Ein weiteres eindeutiges Anzeichen für die Trockenlegung weiter Gebiete sind die schwärzlichen bituminösen Mergelschichten mit den häufig darin vorkommenden versteinerten Landschnecken. Derartige Mergelschichten sind autochthone Bodenbildungen. Die gut erhaltenen Helizidenschalen beweisen, dass die Schnecken einst dort an Ort und Stelle gelebt haben. Ebenso konnten überall zerstreut im Untersuchungsgebiet Reste von Landtieren und Landpflanzen gefunden werden. In den auf die Rinnenphasen folgenden schüttungsintensiven «Überschwemmungsphasen» 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 größerem Material aufgefüllt, wobei sich ein gewisser Tongehalt als Folge der Trübung des Flusswassers während des Hochwassers bemerkbar macht. In der Hauptphase der Überschwemmung 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 rezenten Überschwemmungen, zum Beispiel des Po, deutlich zeigen. Somit gelangten gerade in Zeiten starker Schüttungsintensität vorwiegend die Mergelsandsteine und die gewöhnlichen Mergel zum Absatz. Damit ist keineswegs gesagt, dass in den Zonen starker Strömung nicht auch sehr grobes Geschiebe abgelagert wurde (s. Tabelle S. 188). Wir möchten nur ausdrücklich betonen, dass die heute in der Molasseliteratur geltende Auffassung: Mergel = schwache Schüttungsintensität der Molasseflüsse; grobes Material, Knauersandstein und Nagelfluh = starke Schüttungsintensität, den tatsächlichen Verhältnissen nicht allgemein gerecht wird. Diese Auffassung gilt höchstens für die grossen Schuttfächer mit ihrer Wechsellagerung von Nagelfluhen und Mergeln. Hier sind Gefällsteigerungen durch Hebungen im alpinen Hinterland zusammen mit den Absenkungen im Vorland Voraussetzungen für den bekannten Rhythmus in der Molassesedimentation.

Während der Ablagerung der Zürcher Molasse konnte aber auch der Fall eintreten, dass nach einer grossen Überschwemmung 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» tritt eine «limnische Phase». In gewissen Fällen, wo, wie beim limnischen Leitniveau oder beim Hauptleitniveau (Niveau des «Appenzeller Granites»), die Wasserfläche sich über Hunderte, ja über mehr als tausend Quadratkilometer ausdehnte, sind wohl tektonische Vorgänge mitverantwortlich: Einsenkung des Molasse-troges, 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. Diese limnischen Bildungen haben am Molasseprofil der Zürcher Molasse einen nicht zu vernachlässigenden Anteil. Sie sind wegen ihrer grossen flächenhaften Ausdehnung als Leithorizonte von grösster Bedeutung (s. S. 253).

Die Sedimente der Zürcher Molasse sind im Laufe einer wechsellvollen Geschichte abgelagert worden. Der eigentliche Grund, auf welchem sich die Sedimentation abspielte, war die Schwemmlandebene der beginnenden tortonischen Zeit. Dennoch dürfen wir die OSM nicht einfach als bloss fluviatil-terrestrische Ablagerung bezeichnen, wie dies in der neuesten Molasseliteratur geschieht (F. HOFMANN, 1951; R. HANTKE, 1953; ferner K. LEMCKE u.a., 1953; O. GANSS und P. SCHMIDT-THOME, 1953). Die Faziesbezeichnung soll die Bedingungen charakterisieren, unter welchen das Gestein abgelagert wurde. Die Sedimente der OSM wurden, mit verschwindenden Ausnahmen, im Wasser abgelagert. Ein Gestein, das im Wasser sedimentiert wurde, darf man nicht als terrestrische Ablagerung bezeichnen, auch wenn es sekundär Verwitterungserscheinungen — wie solche ja auch in echt marinen Sedimenten vorkommen —, fossile Trockenrisse usw. aufweist. Die Bezeichnung «fluviatil» ist wohl in vielen Fällen richtig. Sie gilt für die Gesteine, die während der «Rinnenphase» in den Flussrinnen abgelagert wurden. Für die Gesteine, welche während den «Überschwemmungsphasen» abgelagert wurden, ist die Bezeichnung «fluviatil» nicht mehr ganz zutreffend, da bereits und über längere Zeit klar entwickelte limnische Merkmale auftreten. Richtigerweise müssten die Sedimente der Überschwemmungsphase als «Inundations-sedimente» bezeichnet werden. Sie umfassen alle Übergangsglieder zwischen fluviatiler und limnischer Fazies. Eindeutig bestimmt sind wiederum die Gesteine, die in den stehenden Gewässern zum Absatz gelangten. Wir müssen die Zürcher Molasse als Ganzes als limnofluviatile Bildung bezeichnen.

Folgende Gliederung dürfte die Verhältnisse, wie wir sie geschildert haben (vgl. auch N. PAVONI, 1952) am besten illustrieren:

Schüttungsintensität	Sedimentation	Mergelgehalt des Sedimentes	Innerer Aufbau des Sedimentes	Art der Sedimente
gross, trübes Wasser, Wasser mit Material schwer befrachtet	rasch	relativ gross	massig, ungeschichtet, schlecht assortiert	Inundationssedimente
gering, klares Wasser, Wasser kaum mit Material befrachtet	langsam, in stehenden Gewässern langsam, unter wech- selnder Sedimentation und Erosion in fliesen- dem Wasser	gross sehr gering oder fehlend	feinst geschichtet, sortiert sortiert, geschlämmt, z. T. massig, häufige Sekundärinnenbildung auch im kleinen	limnische Sedimente fluviatile Sedimente (Stromrinnen, absinkende Gebiete)

Es sei an dieser Stelle auch auf die neuen Untersuchungen von K. LEMCKE und Mitarbeiter (1953, S. 45—48) in der ungefalteten Molasse des süddeutschen Alpenvorlandes hingewiesen.

Um unsere Auffassung über den Begriff terrestrisch weiter zu unterstützen, seien die Meinungen der folgenden Autoren kurz dargelegt:

F. X. SCHAFFER (1922, S. 388) unterscheidet:

I. Terrestrische Ablagerungen, die auf dem Festlande, am Grunde des Luftmeeres — subaerisch — gebildet sind:

- a) kosmischer Staub (kosmogen)
- b) vulkanische Auswürflinge (vulkanogen)
- c) klastisches Material, trocken abgelagert

II. Aquatische Ablagerungen, die unter Wasserbedeckung oder auf nassem Wege abgelagert worden sind:

- a) fluviatile, fluviale
- b) lakustre
- c) marine

P. NIGGLI (1948, S. 498) schreibt:

Die terrestrische Verfrachtung durch Abrutschen, Abkriechen, Abstürzen und Residualanhäufungen infolge Wegtransportes anderer ursprünglich damit vergesellschafteter Materialien steht im Gegensatz zur Verfrachtung durch Wasser (aquatisch), Verfrachtung durch Eis (glazial), Verfrachtung durch Luft (äolisch).

W. H. TWENHOFEL (1950, S. 54) gibt die folgende «Classification of Environments»:

- Continental
 - Terrestrial
 - Desert
 - Glacial
 - Aqueous
 - Fluvial
 - Piedmont
 - Valley-flat
 - Paludal
 - Lacustrine
 - Spelean
 - Mixed continental and marine
 - Marine

Aus den faziellen Betrachtungen ergibt sich zugleich eine übersichtliche Gliederung der Molassesedimente:

- I. Die Gesteine der Rinnenfazies: Rein fluviatile Ablagerungen. Gesteine: Nagelfluhen und Knauersandsteine. In typischer Ausbildung mergelfrei, unregelmäßige Ablagerung, keine regelmässige Bankung, grosse Mächtigkeitsdifferenzen in derselben Schicht auf ganz kurze Distanzen, Knauerbildung, Deltaschichtung, auffallende Differenzen in Körnung und Materialführung.
- II. Die Gesteine der Inundationsfazies: Ihr gehört der grösste Teil der gelben, mergelhaltigen und damit der grösste Teil unserer Molassegesteine überhaupt an, wie Mergelsandsteine, sandige Mergel, kalkige Mergel. Merkmale: im allgemeinen ausgeprägte Schichtung auf grössere Erstreckung, durchziehende Schichten von mehr oder weniger konstanter Mächtigkeit, Textur massig, Fossilleere, Durchmischung des sandigen und tonigen Anteils.
- III. Die Gesteine limnischer Fazies: Fossile Seekreide (Stinkkalk), feingeschichtete Mergelkalke, feinstgeschichtete Mergel, Meilener Sandstein,

Glimmersandsteine, Glimmermergel. Merkmale: Limnische Fossilien, feinste Schichtung, relativ ausgedehnte Horizonte mit gleichmässigen Mächtigkeiten, gleichmässiges Korn, in Sandsteinen häufige Wellenrippeln.

IV. Rein terrestrische Bildungen: Fossile Böden (schwarze, bituminöse Mergelschichten mit Heliziden), Roterdebildungen und andere fossile Verwitterungserscheinungen (Verfärbungen, Entkalkungen), fossile Trockenrisse.

Die geschilderten Verhältnisse beziehen sich auf die ungestörte Schwemmlandebene. Nun konnten wir aber in der Zürcher Molasse feststellen, dass von Zeit zu Zeit das Molassevorland von Absenkungsvorgängen erfasst wurde. Entlang bestimmten Knickzonen wurden weite Gebiete der Schwemmlandebene langsam abgesenkt (Immersionsgebiete). In diesen Immersionsgebieten gestalteten sich die Sedimentationsverhältnisse wesentlich komplizierter. Lage, Grösse und Geschwindigkeit dieser Immersionen haben im Grunde genommen zusammen mit den Folgen ausgesprochener Hebungen im alpinen Hinterland das Sedimentationsbild im Molassetrog bestimmt, denn die Immersionsgebiete waren vorwiegend überhaupt die Sedimentationsgebiete; dorthin brachten die Flüsse ihr Material. War die Schüttungsintensität gering (klares Wasser, Wassermenge relativ gering), kam es entweder zu einer allmählichen, flächenhaften, weitausgedehnten Aufschotterung und Aufsandung des Immersionsgebietes oder es entstanden bei fehlender Schüttungsintensität ausgedehnte Seen (limnische Ablagerungen). War die Schüttungsintensität gross (trübes Wasser, relativ grosse Wassermengen), kam es vorerst in den Immersionsgebieten zu rascher Sedimentation (Inundationssedimente).

Es dürfte von Interesse sein, noch einige Überlegungen 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 das Falätschenprofil (N. PAVONI, 1952): 75 % der Gesteine sind rasch abgelagerte Inundationssedimente, 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.

E. Stratigraphisch-geologische Beschreibung des Untersuchungsgebietes⁹⁾

1. Das Üetliberggebiet

Zur Erlangung eines ersten Überblickes über die Schichtfolgen der Albis-Üetlibergkette begeben wir uns am besten an die Falätsche ob Zürich-Leimbach. Dieser weitaus schönste Molasseaufschluss der weiteren Umgebung von Zürich erlaubt uns nicht nur in vertikaler Richtung die Schichtabfolge zu beobachten, sondern wir können hier in einmaliger Weise auch die horizontalen Fazieswechsel Schritt für Schritt über eine gewisse Distanz verfolgen. Wer sich ein Bild von der Fazies der Zürcher Molasse machen will, beginnt am besten mit dem Studium der Falätsche, ja wir können noch weiter gehen und mit H. C. ESCHER VON DER LINTH (1807) sagen, dass «diese Faletschge des Besuches eines jeden nach Zürich gehenden Geognosten würdig wäre». Er hat als erster ein detailliertes Falätschenprofil aufgenommen. Das Molasseprofil der Falätsche haben wir bereits an anderer Stelle beschrieben (N. PAVONI, 1952).

Der Anteil der verschiedenen Gesteinsarten am 300 m mächtigen Rüttschli-bach-Falätschenprofil beträgt:

Nagelfluhen	0—2 %
Knauersandsteine	16—18 %
Mergelsandsteine	27 %
Mergel	52—56 %
Kalke	2,2 %

Betrachten wir zunächst den Molasseabschnitt N der Falätsche: das Ü e t l i b e r g g e b i e t. Mit einiger Mühe gelingt es, gewisse Horizonte mit Sicherheit von der Falätsche unter dem Uto durch bis zur Waldegg zu verfolgen. Am Rüttschlibach (Falätsche) liegen die untersten Molasseaufschlüsse auf Kote 505 m. Wir finden hier einen gelb bis rostig gefleckten Knauersandstein in etwas gestörter Lagerung. Er ist stark geklüftet N 15° W. 3—4 m höher folgt ein feiner Knauersandstein. Petrographisch handelt es sich um einen ophiolithreichen Sandstein, abermals 8—10 m höher treffen wir auf eine limnische Zone mit limnischen, feingeschichteten Mergeln. Auf Kote 518 m (neuer Wert) ist ein braungelber, plattiger Stinkkalk mit vereinzelt Rostflecken und plattgedrückten Charapflanzenresten anstehend. Getrennt durch 30 cm starke, bituminöse, äusserst fossilreiche limnische Mergel liegt darunter ein massiger, poröser, ebenfalls sehr fossilreicher braunschwarzer Stinkkalk. Im Liegenden desselben folgen nochmals stark bituminöse, limnische Mergel. Die Zone mit den Stinkkalken wird unter- und überlagert von hellgrauen, feinstgeschichteten, dichten limnischen Mergeln. Von besonderer Bedeutung ist, dass 2—3 m über dem Stinkkalk eine 1½ m mächtige Glimmersandsteinzone folgt, welche sich auszeichnet durch prachtvolle Rippelmarken und gut erhaltene Wurm-

⁹⁾ Die Ortsbezeichnungen in diesem Abschnitt sind grossenteils im Topographischen Atlas der Schweiz 1:25 000 (Siegfriedkarte, Nummern der verschiedenen Blätter s. S. 122) enthalten. Nur wenige Namen wurden den Gemeindeplänen entnommen. Man vergleiche auch das Kärtchen Tafel V.

spuren. Am Fusse der Manegg kann der Stinkkalk auf Kote 520 m durchgehend verfolgt werden. Weiter gegen N verschwindet er unter dem Gehängeschutt. Am linken Arm des Höcklerbaches, der vom Sarbental herkommt, ist das limnische Niveau auf Kote 525 m prachtvoll aufgeschlossen. Zwischen Friesenberg und Albisgütli liegt es unter dem mächtigen Schuttkegel verdeckt. Oberhalb dem Döltschihof ist auf Kote 540 m Glimmersandstein anstehend, welcher uns die Nähe des limnischen Niveaus anzeigt. Am Hang von Sädlen ob dem Triemli konnte der Stinkkalk auf Kote 540 m gefunden werden. Er wird hier direkt überlagert von weichem Glimmersand. Sechs Meter darunter liegt, wie am Rüttschlibach, ein Ophiolith-Sandstein. Etwa 15 m tiefer folgt abermals eine Glimmersandsteinzone. Der Ophiolith-Knauersandstein kann leicht ansteigend dem Weg entlang bis Chli-Läufi verfolgt werden. SW Albisrieden liegt das limnische Niveau in typischer Ausbildung bereits auf Kote 570 m, von leichtem Schutt verdeckt, direkt an der Üetlibergbahnlinie. In diesem soeben beschriebenen limnischen Niveau besitzen wir einen ausgezeichneten Leithorizont an der Basis des Üetlibergs. Durch die Abfolge: Ophiolith-Sandstein im Liegenden, limnische Mergel und Stinkkalke, Glimmersandstein im Hangenden gibt es sich eindeutig als das limnische Leitniveau der Zürcher Molasse (Wehrenbachniveau s. S. 218) zu erkennen. Unter dem Üetliberg durchziehend kommt es bei Landikon im Reppischtal auf Kote 535 m wieder zum Vorschein.

Stratigraphisch höher liegend lassen sich am Üetliberg hang gewisse Horizonte, meist Knauersandsteine, an den scharf gezeichneten, zahlreichen Eggen verfolgen, stets unterbrochen durch breite aufschlusslose Abschnitte, die den Erosionsnischen zwischen den Eggen entsprechen, wodurch die Parallelisierung in vielen Fällen unsicher wird. Über dem limnischen Leitniveau sind es zunächst vor allem drei Knauersandsteinhorizonte, die durch ihre Mächtigkeit, die Regelmässigkeit ihres Auftretens und durch ihr sauber geschlämmtes Material auffallen: Die erste Knauersandsteinbank liegt 25 m über dem limnischen Leitniveau und ist am Rüttschlibach auf Kote 540 m anstehend (Knauersandstein R 540 m). Die zweite Bank folgt am Rüttschlibach auf Kote 560 m (Knauersandstein R 560 m) und die dritte schliesslich, abermals stratigraphisch 20 m höher auf Kote 580 m (Knauersandstein R 580 m). Sie liegt hier stratigraphisch knapp 65 m über dem limnischen Leitniveau. Dieser Horizont zeichnet sich besonders durch seine ausgeprägte Schrägschichtung, durch die Gleichmässigkeit des eher feinen Materials und durch einen relativ hohen Muskowitgehalt aus. Diese drei Knauersandsteinbänke, jede 3—5 m mächtig, sind getrennt durch ausgesprochene Mergelzonen mit teilweise deutlich limnischem Charakter. Im Hangenden eines jeden dieser drei Knauersandsteine folgen stets sehr glimmerreiche Sandsteine und Mergel als feinstes Schwemmmaterial. Die drei Knauersandsteine mit ihren zugehörigen Mergelzonen haben wir als Rüttschlibachserie bezeichnet.

Von Kote 580—630 m folgen am Rüttschlibach und an der unteren Falätsche zwei Mergelzonen, die wohl einige kaum metermächtige Sandsteinlagen enthalten, die aber ausgezeichnet sind durch ihre bunten, roten und grünen Mer-

gellagen. Die beiden Zonen sind getrennt durch eine Sandsteinschüttung, die hier allerdings schlecht aufgeschlossen ist. Die höhere der beiden Mergelzonen, die Zone der unteren Falätschenmergel, enthält drei Kalkhorizonte, die je 8—10 m auseinanderliegen. Der mittlere dieser weisslichen Knollenkalke (Fa 610 m, d. h. an der Falätsche auf Kote 610 m anstehend) ist $\frac{1}{2}$ bis 1 m mächtig. Er enthält bis über kopfgrosse Knollen reinsten Kalkes. Er wird für die Erkenntnis der weiteren Zusammenhänge von grosser Bedeutung sein.

Wenn wir den geologischen Aufbau des Üetliberges gesamthaft überblicken und im mannigfaltigen Wechsel von Sandsteinen und Mergeln eine gewisse Gliederung zu erkennen versuchen, so lassen sich über der Mergelzone der unteren Falätsche verschiedene Zonen abgrenzen, in denen die Sandsteinschüttungen stärker hervortreten (von unten nach oben):

Die Höckleregg-Sandsteine: An der Falätsche sind sie weniger deutlich ausgeprägt: Knauersandstein Kote 640 m mit Rostflecken und kohligen Resten. Knauersandstein Kote 650 m, Glimmermergel und Glimmersandstein. Am Maneggweg gehört zu ihnen der Knauersandstein auf Kote 647 m mit Geröllen an der Basis. An der Höckleregg liegen von Kote 620—650 m an drei mächtige Schüttungen übereinander. Die beiden oberen sind zum Teil als Nagelfluh ausgebildet (Höcklerweg Kote 642 m: 1 m Nagelfluh, Höcklerweg Kote 630 m). Zwischen diesen beiden Schüttungen liegt am Höcklerweg auf Kote 640 m ein Ophiolith-Sandstein, welcher identisch ist mit der Ophiolith-Nagelfluh vom Albispass. Der untere Abschnitt der Höcklereggzone ist durch das Auftreten von Glimmermergeln und Glimmersandsteinen ausgezeichnet (vgl. S. 151). Die Höcklereggzone, insbesondere die mittlere Sandsteinschüttung, kann über die Bernegg, die Rebegg, die Rossweidliegg, die Goldbrunnenegg, bis zum Hohenstein verfolgt werden: An der Bernegg prachtvoller Knauersandstein Kote 620 m, ophiolithischer Sandstein Kote 630 m, Knollenkalk Kote 650 m (= Knollenkalk im Hagni Kote 640 m); am Hohenstein (Studentenweg) Kote 640—650 m Knauersandstein mit Geröllen. Die Sandsteine der Höcklereggzone ziehen unter dem Üetliberg durch und sind am W-Hang des Üetliberges ebenfalls anstehend. Dazu gehören zum Beispiel die Knauersandsteine im Hagni Kote 620 m und Kote 630 m und die Sandsteine und Glimmersandsteine an der neuen Strasse im Hatzental W der Falätsche.

Die Baldern-Sandsteine (Baldernschüttung): Getrennt durch eine 30—40 m mächtige Mergelzone, die sogenannten mittleren Falätschenmergel, finden wir an der Falätsche auf Kote 680—700 m erneut mächtige Bänke von grobem Knauersandstein. Besonders die bis 12 m mächtige Knauersandsteinbank auf Kote 695—700 m (Knauersandstein Fa 700) kann nach S weit verfolgt werden. An der Baldern gehören dazu die markanten Knauersandsteine auf Kote 700—720 m. Im Üetliberggebiet entsprechen dieser Zone die zum Teil ophiolithreichen Knauersandsteine an der Juchegg-Bernegg Kote 675—695 m, ebenso die mächtigen Schüttungen an der Goldbrunnenegg Kote 670—690 m und die glimmerreichen Sandsteine am Hohenstein Kote 690 m. Am W-Hang des Üetliberges finden wir im Niggental und an der Fohlenweid

die Schüttung Fa 700 ebenfalls in 700 m Höhe. In dieselbe Zone gehören die ophiolithreichen Sandsteine am Ofengüpf ob Sellenbüren Kote 680 m. Auch hier zeigt es sich, dass unter dem Üetliberg in W-E-Richtung kaum ein Gefälle der Schichten vorhanden ist.

Die Üetliberg-Schichten: Über einer 25—35 m mächtigen Mergelerie, den oberen Falätschenmergeln, die sich im Hangenden an die Baldernzone anschliesst, folgt ein auffallender Molassekomplex, an dessen Aufbau wiederum in stärkerem Ausmasse Knauersandsteine und vor allem auch Nagelfluhen beteiligt sind. Wir gelangen damit überhaupt in die höchsten Molasseserien unseres Untersuchungsgebiets, die ich unter der Bezeichnung Üetliberg-Schichten zusammenfassen möchte. Dazu gehören die Molasseschichten am Üetliberg, die über 730 m Höhe liegen, ebenso die oberen Partien an der Falätsche, ferner die Nagelfluh-Knauersandsteine an der Burgweid zwischen Baldern und Felsenegg. Dazu gehören am Zürichberg auch die Nagelfluh und Knauersandsteine am Loorenkopf. Die Loorenkopf-Nagelfluh dürfte identisch sein mit der Burgweid-Nagelfluh zwischen Baldern und Felsenegg.

Die Üetliberg-Schichten beginnen mit einer Knauersandsteinschüttung, die recht mächtig werden kann, so zum Beispiel am Berneggweg Kote 733 m. H. H. BOESCH (Geol. Exkursionsführer 1946) beschreibt von dieser Stelle eine Molassenagelfluh, doch handelt es sich dabei um eine Rinne diluvialen Schotter, welche bergwärts «hinter» dem Knauersandsteinsporn durchzieht (jüngerer Deckenschotter oder Rißschotter). Etwa 20 m über diesem Knauersandstein folgt an der Falätsche auf Kote 755 m die «obere» markante Knauersandsteinbank. Sie entspricht der Nagelfluh an der Burgweid (=Loorenkopf-Nagelfluh). Über dieser ersten Geröllschüttung liegt ein bräunlichroter grober Knauersandstein, der auffällig viele Radiolaritkomponenten enthält (10—15%), zum Teil messen die eckigen, kantengerundeten Komponenten mehr als 1 cm im Durchmesser. Dieser «Radiolaritsandstein» scheint recht weit durchzuziehen und würde wohl einen guten Leithorizont darstellen, wäre er nicht von der Erosion schon weitgehend abgetragen worden. An der Burgweid Kote 805 m ist er 1,7 m mächtig. Am Üetliberg liegt er auf Kote 760 m und ist daselbst 5 m mächtig.

10—15 m über dem Radiolaritsandstein lässt sich von der Falätsche bis unter den Üetliberggipfel auf Kote 780 m eine 4—8 m mächtige Nagelfluhschüttung, die sogenannte Üetliberg-Nagelfluh¹⁰⁾, verfolgen. In der Kiesgrube ob der «Fohlenweid» (N Falätsche) fand sich darin ein verkieselter, feinkörniger Flyschsandstein von knapp 24 cm Durchmesser. Von der Falätsche bis zum Mädikerboden bildet die Üetliberg-Nagelfluh die Felsunterlage des Grates; am Mädikerboden allerdings 10—20 m mit Moräne bedeckt. Die Anna-burg selbst liegt in einer Erosionsmulde, welche mit Moräne verkleistert ist. Unter dem Staffel ist die Nagelfluh auf Kote 770—765 m wieder anstehend. Sowohl am W- wie am E-Hang lässt sie sich nach N weiter verfolgen, am W-Hang

¹⁰⁾ Nicht etwa Deckenschotter.

bis unter den Kulm. Am Grat SW des Kulms konnten bis 16 cm grosse Gerölle (Flyschkalke) gefunden werden. Es handelt sich um eine gewöhnliche Kalk-Dolomit-Nagelfluh. Sehr bemerkenswert ist das Auftreten von helvetischem Material in der Üetliberg-Nagelfluh. Nach den Aufsammlungen von J. FRÜH (1888) und C. ESCHER-HESS (1907) konnten vor allem in den Aufschlüssen an der «Fohlenweid» und «Alt-Üetliberg» Gerölle eindeutig nordhelvetischer Herkunft, insbesondere Nummulitenkalke gefunden werden (vgl. auch J. SPECK, 1953). H. TANNER (1944) hat in der oberen OSM im Hörnligebiet ebenfalls helvetische Gerölle gefunden, womit sich auch hierin die enge Verwandtschaft der Üetliberg-Schichten mit den oberen Hörnli-Schichten ausdrückt.¹¹⁾

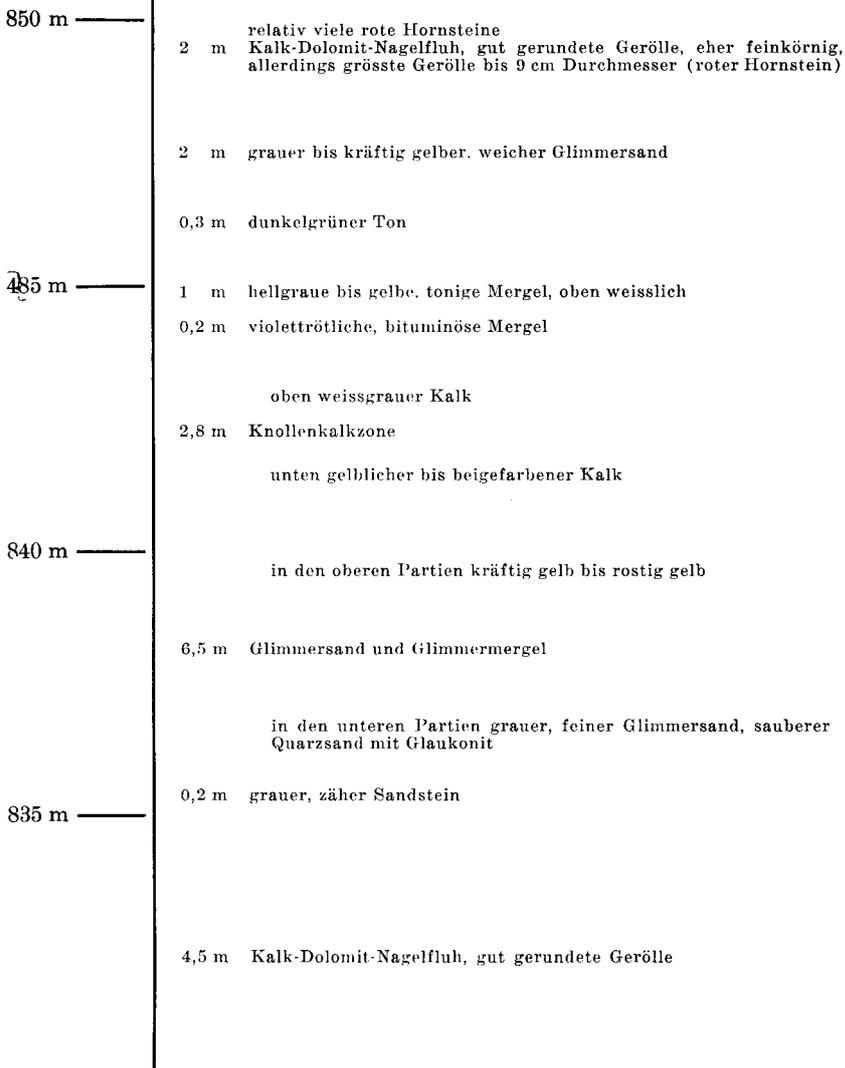
Stratigraphisch 20 m unter der Üetliberg-Nagelfluh liegen sowohl im SW der Annaburg wie auch am E-Hang bituminöse Mergel mit zahlreichen limnischen Fossilien, meist kleinen Planorben, und lokal 2—5 cm Stinkkalk (Denzlerweg Kote 755 m). Die Üetliberg-Nagelfluh liegt an der Falätsche rund 260—265 m, am Üetliberggipfel etwa 250 m über dem limnischen Leitniveau. Am Üetliberggipfel reicht die Molasse bis auf 850 m Höhe, bis unter den Fernsehturm, d. h. wir haben hier noch über der Üetliberg-Nagelfluh eine Molasseserie von 75 m Mächtigkeit, die bis heute vom Abtrag verschont geblieben ist.

Über den unteren Üetliberg-Schichten, die sich durch eine Reihe von markanten Sandsteinbänken und durch die mächtige Üetliberg-Nagelfluh auszeichnen, folgen über einer mehr oder weniger deutlich ausgeprägten Mergelschicht (Üetliberg-Mergel) am Üetliberggipfel abermals Knauersandsteine und Nagelfluhbänke. Diese oberste Molasseserie der Zürcher Molasse und wahrscheinlich der OSM der Schweiz überhaupt, die sogenannten oberen Üetliberg-Schichten, beginnt mit dem 10 m mächtigen, feinen, relativ glimmerreichen Knauersandstein auf Kote 810 m. In den obersten 15 m sind zwei auffallende Nagelfluhbänke eingeschaltet, die beiden Üetliberggipfel-Schüttungen. Es handelt sich um gewöhnliche Kalk-Dolomit-Nagelfluhen. Die obere, die alleroberste erhaltene Schicht der Zürcher Molasse, führt relativ häufig Radiolarite. Gerölle mit prachtvollen Eindrücken sind zahlreich und nichts deutet irgendwie auf den Umstand hin, dass wir uns hier in den obersten Abschnitten der OSM befinden. Die obersten Molasseschichten am Üetliberggipfel zeigen in ihrer faziellen Ausbildung keinen Unterschied zu den tieferen Molasseschichten unseres Untersuchungsgebietes. Von Interesse und sehr bemerkenswert ist die Tatsache, dass zwischen den beiden Bänken eine Glimmersandserie eingeschaltet ist. Der sehr feine, sauber geschlämmte glimmerreiche Quarzsand ist glaukonithaltig, eine Beobachtung, die mit den Verhältnissen am Tannenbergl und am Gehrenbergl (F. HORMANN, 1951) übereinstimmt. Möglicherweise zeichnet sich darin eine gewisse Änderung in den paläogeographischen Gegebenheiten ab. Die 2,8 m mächtige Kalkzone auf Kote 845 m verdient besonders erwähnt zu werden (vgl. das Profil).

¹¹⁾ Bis jetzt sind Gerölle helvetischer Herkunft nur aus den Üetliberg-Schichten bekanntgeworden.

Profil durch die obersten Schichten der Zürcher Molasse am Üetlibergkum
(aufgenommen am Gratweg am E-Hang direkt unter der Fernsehstation)

Kote:



2. Das Albisgebiet

Wir verstehen darunter den gesamten Bergzug von der Falätsche nach S bis zum Schweikhof.

Der Abschnitt Falätsche-Baldern

Bis zum Hüslibach liegen die Schichten horizontal. Von der Falätsche über den Buchsatz-Leiterliberg-Hüsliberg lässt sich die mächtige Schüttung Fa 700

sozusagen durchgehend verfolgen. Sie verläuft stets auf Kote 700 m. Ebenso lässt sich mit einiger Mühe auch die Schüttung R 580, welche rund 65 m über dem limnischen Leitniveau liegt, in horizontalem Verlauf bis zum Hüslibach verfolgen. Das limnische Leitniveau, welches am Rüttschlibach auf Kote 520 m eben noch aufgeschlossen ist, ist weiter nach S, im Gebiet von Leimbach vollständig unter dem Gehängeschutt verborgen. Die grosse Nische in der Albiskette bei der Baldern ist die Ausbruchsnische eines mächtigen Bergsturzes, dessen Schuttmassen heute das Gebiet von Mittel und Ober Leimbach einnehmen. Es handelt sich keineswegs um Gehängeschutt, dagegen spricht auch die ganze Morphologie des Gebietes zwischen Ober und Mittel Leimbach und die eigenartige Verflachung im Ris. Die Aufschlüsse beim Ausbau der Soodstrasse zwischen Hüslibach und Schwarzbach haben denn auch eine prachtvolle Molasse-Bergsturbrekzie zutage gebracht mit darin eingestreuten, bis mehrere Kubikmeter grossen Molassesandsteinblöcken, die, nach ihrer petrographischen Zusammensetzung zu schliessen, von der Höhe des Albisgrates stammen. Ebenso kann am Risweg ob «Im Hüsl» (Mittel Leimbach) «Molassebrekzie» beobachtet werden. Nach unserer Auffassung hat dieser Bergsturz die Sihl eine zeitlang bis auf etwa 500 m Höhe aufgestaut, so dass sie gezwungen war, E des Entlisberges abzufließen. Der Bergsturz von Mittel Leimbach erfolgte sogleich nach dem Rückzug des Linthgletschers.

Etwa von Mädikon weg beginnen die Schichten leicht nach S anzusteigen. Dieser leichte Knick und eine damit verbundene stärkere Klüftung sind wahrscheinlich die Ursache, dass gerade hier ein Bergsturz erfolgte. Ein prachtvolles Molasseprofil liefert uns der Bach, der von der Baldern zum «Ris» (Ober Leimbach) hinunterfliesst.

Unter anderem findet man hier auf Kote 635—640 m einen weisslichen Knollenkalk anstehend, der identisch ist mit dem Knollenkalk Fa 610. Wir befinden uns hier in der Kalkzone der unteren Falätsche. 10 m darunter liegt eine mächtige Knauersandsteinschüttung. Es handelt sich um einen grauen, sauber gewaschenen, relativ glimmerreichen Knauersandstein mit sehr ausgeprägter Schrägschichtung. Am W-Hang des Albis ist im Tobel ob Stallikon ein durchgehendes Molasseprofil, ebenfalls in der Mergelzone der unteren Falätsche, aufgeschlossen. Der Knollenkalk auf Kote 615 m entspricht dem Kalk Fa 610.

Etwa 250 m SE «Im Ris» ist auf Kote 570 m ein Stinkkalk anstehend, den man zuerst mit dem limnischen Leitniveau parallelisieren möchte, was dann allerdings zur Annahme eines eingesedimentierten Bruches im Gebiet Baldern-Mädikon führen würde. Auf Grund des Schichtvergleiches Felsenegg-Baldern-Falätsche sind wir aber zur Überzeugung gelangt, dass diese limnische Bildung nicht mit dem limnischen Leitniveau identisch ist, sondern stratigraphisch rund 40 m über diesem liegt (Doldertobelzone, s. S. 249).

Der Abschnitt Baldern-Felsenegg

Hier steigen die Schichten nun deutlich, wenn auch nur sehr flach, nach S an. Die Baldernschüttung, an der Baldern auf 710—720 m, liegt an der Felsenegg bereits auf 760 m Höhe. Das durchschnittliche Gefälle beträgt somit 2,75 %.

Am untersten Abschnitt des Felseneggweges ist auf Kote 565 m (Koord. 681, 32/240,73) zum erstenmal wieder unser limnisches Leitniveau aufgeschlossen: Es enthält hier 3—5 cm Kohle. Nach eingehenden Untersuchungen liessen sich die am Felseneggweg relativ schlecht aufgeschlossenen Molasseschichten wie folgt mit dem Falätschenprofil vergleichen (neue Werte):

Schicht	Felseneggweg	Falätsche-Rütschlibachprofil
Kalk	770 m	709 m
Knauersandstein (Baldernschüttung)	760 m	695 m
Kalk	752 m	690 m
Kalk	738 m	677 m
Rote Mergel	717 m	556 m
Kalk (Kalkzone der unteren Falätsche)	680 m	610 m
Knauersandstein	590 m	540 m
Limnisches Leitniveau	565 m	518 m

Der Abschnitt Felsenegg–Albispass

Durch den allmählichen Anstieg der Schichten nach SSE tritt das limnische Leitniveau aus dem Bereich des Gehängeschuttes heraus. Vom Felseneggweg Kote 560 m lässt es sich unter leichtem Anstieg verfolgen über Hinter-Stieg Kote 575 m, Vorder-Stieg Kote 580 m, Junker Kote 595 m, Rossweg Kote 605 m, Löhli Kote 615 m ins Schwyzertobel Kote 640 m. Im Winzelentobel liegt es, aus Lesesteinen zu schliessen, auf Kote 660—670 m. Im Abschnitt zwischen Felsenegg und Schwyzertobel ist das Niveau kohleführend. Im Rossweg wurden zu verschiedenen Malen Abbauversuche unternommen, zuletzt während des zweiten Weltkrieges. Über die geologischen Verhältnisse des Bergwerkes Rossweg sei auf die Arbeiten von E. LETSCH (1899), A. VON MOOS (1946, 1947), H. L. HALBERTSMAA (1944) und die Berichte des Bureaus für Bergbau (1946) verwiesen.

Im Reppischtal sind aus dem Gebiet von Riedhof–Wolfen seit langem Molassekohlen von guter Qualität bekannt geworden (E. LETSCH, 1899) und insbesondere während des zweiten Weltkrieges in recht bedeutenden Mengen abgebaut worden. Handelt es sich dabei um dasselbe Lager wie bei Rossweg? Um diese Frage beantworten zu können, ist es notwendig, den geologischen Bau der Albiskette zwischen Felsenegg und Albispass etwas näher zu betrachten. Die breiten Höhenzüge — die Albiskette erreicht hier ihre grösste Breite — tragen alle eine recht mächtige Moränendecke, z. T. mit Schottern an der Basis, welche uns den Einblick in die geologischen Verhältnisse der Molasse verwehren. Am Stiegberg lassen sich die Sandsteine der Baldernschüttung unter leichtem Anstieg noch bis unter das Plateau der Hinteren Buchenegg verfolgen. Von besonderem Interesse sind die Aufschlussverhältnisse am Grat bei H e r m e n (SW Adliswil) N der Bucheneggstrasse. 25 m über dem limnischen Leitniveau (s. oben) liegt ein Knauersandstein, der identisch ist mit dem Knauersandstein am Rütschlibach Kote 540 m. Dann folgt auf Kote 670 m eine 5 m mächtige Kalk-Dolomit-Nagelfluh, die stratigraphisch 50—55 m über dem

limnischen Leitniveau liegt (Hermen-Nagelfluh). Stratigraphisch 90 bis 95 m über der Hermen-Nagelfluh findet man im Gebiet E der Näfenhäuser einen bis 10 m mächtigen Knauersandstein, NE der Näfenhäuser auf Kote 755 m, an der Bucheneggstrasse, z. T. geröllführend, auf Kote 760 m. Es handelt sich um einen Ophiolith-Sandstein. Zwei Kilometer weiter im S finden wir im Winzelentobel wiederum ganz ähnliche Verhältnisse: Auf Kote 720 m liegt ein mehrere Meter mächtiger Knauersandstein und gleich darüber eine 5 m mächtige Kalk-Dolomit-Nagelfluh: Es ist die Hermen-Nagelfluh. Im Hangenden folgt zunächst eine Mergelzone mit vorwiegend bunten und bituminösen Mergeln, dann auf Kote 760 m ein Knauersandstein. Besonders wichtig ist der 1 m mächtige, weisse Knollenkalk auf Kote 780 m. Den Abschluss dieses Profils bildet die Ophiolith-Nagelfluh vom Albispass, welche stratigraphisch 25 m über dem Knollenkalk liegt. Einen guten Einblick in die Zusammensetzung dieser Nagelfluh vermittelt die alte Kiesgrube an der Birrwaldstrasse Kote 810 m. Diese Nagelfluh enthält stellenweise bis zu 65 % ophiolithische Gerölle. Sowohl im Gebiet der Buchenegg wie auch am Albispass lässt sich am Osthang des Albis eine Zone ophiolithreicher Sandsteine und Nagelfluhen feststellen, die 140—145 m über dem limnischen Leitniveau liegt: Die Ophiolith-Nagelfluhzone vom Albispass.

Wie sind die Verhältnisse auf der W-Seite der Albiskette? Am Hang oberhalb Habersaat (N Türlensee) finden wir auf Kote 720 m zunächst eine glimmerreiche Nagelfluh-Knauersandsteinschüttung. Ihr Zentrum liegt E Habersaat. Der glimmerreiche Sandstein lässt sich am W-Hang noch weit verfolgen. So liegt er am Türlenberg ebenfalls auf Kote 720 m. 50—60 m tiefer sind an der Strasse nach Türlen limnische bituminöse Mergel mit Stinkkalknestern und Glimmersandstein im Hangenden und im Liegenden aufgeschlossen. Es ist das limnische Leitniveau. Der Glimmersandstein im Bereich des limnischen Leitniveaus ist auch an der Albispaßstrasse Kote 670 m prachtvoll aufgeschlossen. Doch kehren wir zurück zum Hang ob Habersaat. Stratigraphisch 40 m über der Sandstein-Nagelfluhzone vom Türlenberg liegt eine mächtige Nagelfluhschüttung, welche nach oben in einen Knollenkalk übergeht. Gleich über dem Kalk folgt ein Knauersandstein und auf Kote 775 m nochmals ein weisser, leicht gelblicher Knollenkalk, der identisch sein dürfte mit dem Knollenkalk im Winzelentobel Kote 780 m. Bei Chnübrenchi ist auf Kote 775 m eine Nagelfluh anstehend, welche ebenfalls sehr ophiolithreich ist, stratigraphisch aber etwa 30 m unter der Ophiolith-Nagelfluh vom Albispass liegt.

Weiter nach NW lassen sich die geschilderten Verhältnisse am W-Hang des Albis lückenhaft, aber doch eindeutig verfolgen. Ein besonders schönes Molasseprofil liefert das wilde Stierenweidtofel SE Tägerst im obern Reppischtal: Auf Kote 670 m finden wir den glimmerreichen Sandstein vom Türlenberg wieder. Stratigraphisch 40 m höher quert eine bis 8 m mächtige Knauersandsteinbank das Tobel. Es handelt sich eindeutig um dieselbe Schüttung wie die Nagelfluh bei Habersaat Kote 750 m, denn in ihrem Hangenden trägt sie einen mehr als 1 m mächtigen, weisslichen Knollenkalk mit vielen Konkretionen, darüber

liegen 1,5 m bituminöse, schwarze bis dunkelgrüne Mergel. Das Molasseprofil wird auf Kote 750 m abgeschlossen durch einen 10 m mächtigen Ophiolith-Sandstein, der identisch ist mit dem Ophiolith-Sandstein an der Bucheneggstrasse Kote 755 m: Die Ophiolith-Schüttung vom Albispass. Zwischen dem Sandstein auf Kote 710 m und der Ophiolith-Schüttung ist eine Mergelzone mit vorwiegend bunten, tonigen Mergeln eingeschaltet. Es ist die Zone der unteren Falätschenmergel. Diese enthält hier drei Kalkhorizonte: a) den oben erwähnten weissen Knollenkalk auf Kote 715 m; b) auf Kote 730 m einen weissen, dichten, zähen, ungefähr 1 m mächtigen Kalk; c) auf Kote 738 m knollig-kalkige, weisse Mergel.

Die Untersuchungen zeigen eindeutig, dass das Kohlenlager im Rossweg identisch ist mit dem Kohlenlager im Riedhof.

Der Abschnitt Albispass-Schnabellücke

Vergeblich suchen wir im S des Albispasses nach einer Fortsetzung der Ophiolith-Nagelfluh. Die Nagelfluh fehlt, aber an ihrer Stelle stossen wir an der Strasse zum Albisboden auf Kote 825 m auf einen Ophiolith-Sandstein, der ohne Zweifel die Fortsetzung der Albispass-Schüttung darstellt. Unter leichtem Anstieg lässt sich dieser Sandstein bis zum Renggerberg (Kote 835 m) verfolgen. An der Hochwacht dürfte er auf 845 m Höhe liegen. Im Liegenden wird er von einem mergeligen, weissen Knollenkalk begleitet. Leider sind die Aufschlussverhältnisse infolge starker Moränen- und Schotterbedeckung (Rissmoränen, Albisboden-Schotter mit auffällig vielen Reussgraniten und -gneisen, bis 30 %) auf der Albis-W-Seite recht dürftig, so dass wir vorwiegend auf die Aufschlüsse auf der E-Seite angewiesen sind. 40—45 m unter der Ophiolith-Schüttung vom Albispass liegt im Abschnitt Renggerberg-Hochwacht eine mehr als 5 m mächtige, bunte Nagelfluh, welche der Nagelfluh ob Habersaat Kote 750 m entspricht. Das Brunnen-tobel gestattet einen relativ guten Einblick in die Molasse:

Stratigraphisch unter der eben erwähnten Nagelfluh vom Renggerberg lässt sich auf Kote 775 m mit einiger Mühe ein Knollenkalk ausgraben. Er kann am E-Hang unter dem Schnabel bis zum Chli Bürglen (Kote 810 m) und noch weiter verfolgt werden. Unter diesem Kalk von Chli Bürglen liegen im Brunnen-tobel noch drei Knauersandstein-Horizonte (Kote 760 m, Kote 740 m, Kote 710 m). Der unterste ist ein prachtvoller Knauersandstein und ist identisch mit dem Knauersandstein im Rüttschlibach Kote 540 m. 25 m tiefer ist der Hang auffällig sumpfig. Nachgrabungen auf den Quellhorizont zeigen, dass wir uns im limnischen Leitniveau befinden. Der Stinkkalk fehlt hier allerdings. Der Knauersandstein auf Kote 740 m ist stellenweise recht glimmerreich und könnte somit sehr wohl der Türlerbergschüttung (s. S. 199) entsprechen.

Am E-Hang zwischen Hochwacht und Schnabelburg gestalten sich die Verhältnisse insofern recht interessant, als hier etwa auf Kote 780 m eine mächtige Nagelfluhschüttung einsetzt, die über Chli

Bürglen (Schnabellücke) ununterbrochen bis unter das Albishorn (Kote 865 m) verfolgt werden kann, die sogenannte «Chli-Bürglen-Nagelfluh». Sie liegt hier etwa 80—90 m über dem limnischen Leitniveau. Die Nagelfluh am Molassehügel des Riesenbuck gehört auch dazu. Beim Riesenbuck kann es sich somit kaum um eine abgesackte Masse handeln.

Der Abschnitt Bürglen–Albishorn–Ober Albis–Schweikhof

Der Sihlwald ist trotz seinen prachtvollen Waldungen für den Molassegeologen ein trostloses Gebiet, besteht er doch grösstenteils aus Schuttmassen. Im südlichen Abschnitt sind es mächtige Moränen-«Böden», zwischen unterem Eichbach und dem Tobelbach, vor allem abgesackte Molasse-Schuttmassen und Moränenmaterial, welche jeden Einblick in die Molassegeologie dieses bedeutsamen Abschnittes verhindern. Nur die Tobel gegen das Sihltal hinunter vermögen die Molasse anzuschneiden (vgl. die Beschreibung des Sihltales S. 207 ff.). Der Albis-W-Hang trägt in diesem Abschnitt mit Ausnahme des Bürglen und des Huserberges eine sehr vollständige Moränenbedeckung. So sind es einzig die steilen Anrisse auf der E-Seite oberhalb Kote 800 m, S Ober Albis oberhalb Kote 750 m, welche uns einen einigermaßen zusammenhängenden Überblick über die Molassegeologie zu vermitteln vermögen. Im besonderen trifft dies für den Hang an der Bürglen zu, wo wir von der Schnabellücke bis zum Albishorn die Molasse gut aufgeschlossen vorfinden. Es sind vor allem drei Nagelfluhbänke, die in Abständen von 10—20 m unter das Albishorn ansteigen. Die mittlere dieser Bänke, die Chli-Bürglen-Nagelfluh, lässt sich am besten verfolgen. Von 790 m am Chli Bürglen steigt sie auf einer Strecke von knapp 1,5 km auf 865 m Höhe an. Am Bürglenstutz liegt etwa 8 m unter ihr lokal ein dunkelbrauner Stinkkalk von 10—15 cm Mächtigkeit mit bituminösen, limnischen Mergeln und zahlreichen Fossilien. Es handelt sich um eine limnische Ablagerung im Bereich der «unteren» Nagelfluhschüttung, die 10 m unter der Chli-Bürglen-Nagelfluh liegt. Diese muss also 70—80 m über dem limnischen Leitniveau liegen.

SSE vom Albishorn bis gegen das Wüste Tobel hin ist zunächst alles mit Grundmoräne verkleistert. Beim Rossfuss stossen wir auf Kote 830—835 m wieder auf Molasse, auf einen mächtigen Knauersandstein. Es ist, wie sich noch herausstellen wird, wiederum die Schüttung, die 25 m über dem limnischen Leitniveau liegt. Noch näher gegen das Wüste Tobel hin, aber noch im Einzugsbereich des Birribodenbaches, werden die Aufschlussverhältnisse wieder erfreulich. Die 25er-Schüttung lässt sich, leicht nach S ansteigend, weiter verfolgen bis ins Wüste Tobel. Auf Kote 815 m aber entdecken wir einen Knollenkalk mit bituminösen Mergeln voll limnischen Fossilien, z. T. auch mit etwas Kohle. Gleich darüber liegt ein prachtvoller Glimmersandstein. Es kann kein Zweifel sein: Es ist unser limnisches Leitniveau, welches hier in so grosser Höhe über dem Sihltal vor uns liegt. Im Wüsten Tobel liegt es auf Kote 825 m. Hier finden wir sogar auch wieder einige Zentimeter Stinkkalk einge-

schaltet. Wenn wir die Schichten vom Albishorn gleichmässig gegen S ansteigen lassen, so müsste die Chli-Bürglen-Nagelfluh etwa bei Pkt. 901,1 austreichen. Statt dessen finden wir am Grat einen fluvioglazialen Schotter und Altmoränen. 10 m tiefer stossen wir auf zahlreiche grosse Blöcke einer eigenartigen, gleichmässigen, eher feinkörnigen, löcherigen Nagelfluh. Sie ist auf etwa Kote 890 m anstehend. Es handelt sich, wie schon R. FREI (1912) vermutete, tatsächlich um eine löcherige Molassenagelfluh. Dies geht aus ihrem ganzen Habitus, aus ihrem relativ sehr gut sortierten, feinkörnigen, gut gerundeten Geröllmaterial und dem durchweg vollständig dichten Bindemittel eindeutig hervor. In meinem Untersuchungsgebiet habe ich nirgends Auslaugungserscheinungen an Molassenagelfluhen angetroffen, die auch nur annähernd mit dieser löcherigen Molassenagelfluh verglichen werden könnten. Es wurden stets nur die einzelnen Gerölle ausgelaugt. Die Nagelfluh liegt 70 m über dem limnischen Leitniveau. Es ist diejenige Nagelfluh, die 10 m unter der Chli-Bürglen-Nagelfluh liegt. Damit werden die oben genannten Zusammenhänge in schönster Weise bestätigt.

Weiter nach SSE werden die Aufschlüsse wieder ausserordentlich dürftig. Gewisse Sandsteine im «Roten Meer» lassen noch erkennen, dass hier die Schichten leicht nach NNW einfallen. Beim Albis-Mätteli (Pkt. 859,6) sinken sie aber bereits mit $1-1,5^\circ$ nach SE ab, die schon früher, u. a. von R. STAUB (1938) erwähnte Albis-Antiklinale. Schon J. KAUFMANN (1872) beschreibt SSE-fallende Molasseschichten am südlichen Albis. Man vergleiche auch die historischen Hinweise in E. LETSCH (1899). LETSCH (1899, S. 114) nimmt an, dass die Verlängerung der Terrassenantiklinale durch das Dorf Hausen a. A. ginge. (Käpfnach-Roten-Antiklinale von A. VON MOOS, 1946.)

Die antiklinale Umbiegung befindet sich rund 300 m NNW von Pkt. 859,6. Das limnische Leitniveau dürfte im Antiklinalscheitel auf etwa 840 m Höhe liegen. Von hier weg sinken die Schichten nun relativ rasch nach SSE ab. Das Ebertswilerholz steht auf Molasse, meist auf prachtvollen Schichtflächen. Die Aufschlüsse sind aber schlecht, mit Ausnahme der Sandsteinzone im Waldgatter, NW Pkt. 755. Von Kote 760 m steigen diese Sandsteine in NW-Richtung auf Kote 815 m an. Im Antiklinalscheitel bis auf etwa 825 m. Knapp 10 m über diesem Sandstein ist NW Pkt. 755 ein weisser Knollenkalk anstehend, der im Hangenden in bituminöse, limnische Mergel übergeht. Es handelt sich auch hier um das limnische Leitniveau in reduzierter Ausbildung. Ob dieser Knollenkalk identisch ist mit dem Knollenkalk am Talbach S des Schweikhofes Kote 630—640 m ist natürlich schwierig zu beweisen, doch sprechen die Gefällsverhältnisse der Molasse in diesem Abschnitt und der Habitus des Kalkes für eine solche Lösung.

Zum Schluss muss noch der H u s e r b e r g ob Hausen a. A. unbedingt erwähnt werden. Nicht etwa weil er sich durch besonders gute Aufschlüsse auszeichnen würde, im Gegenteil, die Aufschlüsse sind sehr spärlich, unzusammenhängend und zudem tiefgründig verwittert. Der Huserberg ist aber insofern von ganz besonderem Interesse, weil er die einzige Stelle ist, wo das Niveau des «Appenzeller Granites» auch auf der W-Seite der Albiskette zum Vor-

schein kommen sollte, wenn die limnischen Mergel im Wüsten Tobel Kote 825 m wirklich dem limnischen Leitniveau entsprechen und wenn nicht eine Verwerfung bei Mittel Albis–Hinter Albis–Riedmatt durchzieht. Wir haben darum den Huserberg ausserordentlich eingehend abgesucht. Das Niveau zieht tatsächlich ob Albisbrunn auf Kote 685 m durch, allerdings reduziert und verwittert. Wenn es noch eines Beweises für die Albisverwerfung (s. S. 278) bedurft hätte, so liegt er nun hier vor.

3. Das Sihltal

Die nördlichsten Molasseaufschlüsse im Sihltal liegen im Stadtgebiet von Zürich. Das «Bühl» in Wiedikon ist ein Moränenhügel, der auf einer harten Molassesandsteinunterlage aufliegt. Anlässlich eines Fundamentaushubes im Mai 1954 im SE des «Bühls» war die wellige Oberfläche des zähen, grauen Knauersandsteins prachtvoll aufgeschlossen. Sie lag etwas unter 420 m Höhe. Gegen den Hügel hin war die Grundmoräne angeschnitten. Über der Sandsteinfläche selbst lag Sihlgeröll, darüber Schlammsand mit Holzresten und limnischen Schnecken, Kies in Linsen, verschwemmtes Grundmoränenmaterial und Torf, alles zusammen rund 4 m mächtig. Darüber folgte jüngerer Schutt. Bei der Papierfabrik a. d. Sihl kommt im Sihlbett ebenfalls Molasse zum Vorschein. In einem grossen Aushub S Station Giesshübel, in der westlichen Fortsetzung der Edenstrasse, war die Molasse ebenfalls gut aufgeschlossen; unter 2—2,5 m Sihlkies und teilweise vorhandener Grundmoräne folgte eine 3—5 m mächtige Knauersandsteinrinne. Die Rinne war ihrerseits eingetieft in einen etwa 1,5 m mächtigen, feinkörnigen Sandstein, der im Hangenden in bituminöse schwarze Mergel mit *Chara* überging. Im Liegenden kamen im nördlichen Teil der Grube rote Mergel (60—70 cm mächtig) und bituminöse, grünbraune Mergel (etwa 15 cm) zum Vorschein. Die Schichten fielen an der W-Wand auf 66 m in NS-Richtung etwa 1—1,5 m nach S ab.

Am «Müsli» in Wollishofen ist Molassesandstein undeutlich aufgeschlossen. Nach A. WETTSTEIN (1885) befand sich hier früher sogar ein Molassesandsteinbruch. Ein Sandstein ist heute noch am W-Hang gleich über der Bahnlinie und am Weg zum Butzen sichtbar. Das Plateau im N des Entlisberges auf dem das Waisenhaus, die Taubstummenanstalt und das Bergdörfli liegen, wird vollständig durch Molasse gebildet. Es sind durchweg Sedimente, die knapp unter dem limnischen Leitniveau liegen.

Am W-Hang des Entlisberges folgen mehrere prachtvolle Molasseaufschlüsse. Wir befinden uns hier in einem klassischen Gebiet der Zürcher Molasse. Auf Kote 470 m kann auf eine NS-Erstreckung von 1 km ein Stinkkalk durchgehend verfolgt werden. Es ist der Stinkkalk des limnischen Leitniveaus. Im nördlichen Teil scheinen die Schichten, immer in NS-Richtung, ganz leicht mit kaum 1 % gegen N anzusteigen. Direkt über dem Stinkkalk liegt die Glimmersandsteinzone vom Entlisberg (vgl. Profil), darüber folgt eine limnische Zone von etwa 5 m Mächtigkeit, lokal mit einem weiteren gelbbraunen limnischen Kalk (Algenkalk)

an der Basis und einem weisslichen, knolligen Kalk mit zahlreichen limnischen Mollusken, Krebsresten und Säugetierresten. Die Kuppe des Entlisberges wird durch einen Knauersandstein gebildet, der stratigraphisch 45 m über dem limnischen Leitniveau liegt und im Gebiet von Zürich weitverbreitet ist (= Knauersandstein am Rüttschlibach Kote 560 m). Am grossen Aufschluss unter dem Entlisbergekopf kann die stromrinnenförmige Lagerung der Knauersandsteine in schönster Weise beobachtet werden. Hier lässt sich auch erkennen, dass die Schichten ein W-Fallen von 1,5—2 % besitzen. Sehr auffällig ist hier die starke NNW—SSE-Klüftung (N 20—25° W), die ebenfalls daraufhin deutet, dass wir uns hier nahe an einer Störungszone befinden. Die untere mächtige Bank erinnert in ihrer Ausbildung an die pseudo-granitischen Sandsteine des Aquitans. Im Sihlbett ist ein heller, gut geschichteter, grober Knauersandstein anstehend, der durch seinen Glimmerreichtum auffällt. Der Sandstein dürfte identisch sein mit dem Sandstein im Küssnachter Tobel auf Kote 500 m. (Siehe Profiltabelle Seite 205.)

Weiter sihlaufwärts finden wir im Flussbett immer wieder Knauersandsteine anstehend, so bei Pkt. 445 SE Sood und in Adliswil bis zur Seidenweberei. Über die Molasseunterlage im Gebiet zwischen Neubühl und Kilchberg lassen sich wegen der Überdeckung mit Quartärablagerungen leider nur wenige Aussagen machen. Soviel ist sicher, dass im genannten Gebiet die Quartärbedeckung nicht sehr bedeutend ist. Anlässlich der Fundamentaushübe für die Neubauten zwischen dem Neubühl und den Filteranlagen «im Moos» kam unter wenigen Metern Moränenmaterial Molasse zum Vorschein. Auf Kote 465 m (neuer Wert, Koord. 682,80/242,95) ist der Stinkkalk des limnischen Leitniveaus anstehend. Beim Felsenhof und im Wäldchen N Lebern ist Molasse anstehend. Die Moränendecke wird erst mächtig auf der Seite gegen den See hin. «Im Moos» selbst scheint eine tiefe quartärerfüllte Mulde vorzuliegen (alter Sihlauf?).

Wegen der mächtigen Gehängeschutt- und Bergsturzmassen der Albis-Üetlibergkette fehlen auf der linken Sihlseite von der Wollishofer Allmend bis zum Langenberg, zwischen Adliswil und Langnau, irgendwelche Molasseaufschlüsse vollständig. Das Gebiet von Adliswil stellt eine grosse Lücke dar, so dass es nicht möglich ist, die Aufschlüsse am Entlisberg mit den Aufschlüssen am Sihlhang des Kopf oder des Langenberges direkt zusammenzuhängen. Am W-Hang des Kopf ist die Molasse nur bis Kote 500 m deutlich aufgeschlossen. Darüber ist sie mit Quartär bedeckt. Einzige Ausnahme bildet der Molassesandstein-Aufschluss 300 m W des Vorderen Längenmoos (N Langnau) auf Kote 525 m, welcher ebenfalls darauf hinweist, dass die Quartärbedeckung am Kopf nicht sehr gross ist. Am rechten Sihlhang zwischen Adliswil und Langnau erkennen wir ein deutliches Nordfallen der Schichten von 1,5—1,7 %. Bemerkenswert ist die Knauersandsteinbank am Hang gegenüber Gontenbach auf Kote 485 m, welche sich durch ihren auffallenden Gehalt an organischen Resten auszeichnet (Schwemmholz, Zähne und Knochen von Säugetieren, Schildkrötenpanzer). Am Bächlein, welches vom Vorderen Längenmoos herunterfliesst, sind an der Basis derselben Sandsteinbank prachtvolle *Unio* erhalten, durchweg linke und

Kote:

Sammelprofil am Entlisberg-Westhang

490 m	100 cm dunkelgelber, bunter, feiner Sandstein
	200 cm grauer, rostgelb gefleckter, feiner Sandstein mit Knauern
485 m	210 cm bunte, feinstgeschichtete Mergel
	15 cm schwärzliche, bituminöse, sandige Mergel * mit Holzresten
	20 cm gelbe, sandige Mergel
	120 cm grauer Sandstein, beim Zerschlagen bituminöser Geruch
	130 cm graue, sehr feinsandige Mergel
480 m	220 cm grauer, relativ feiner Knauersandstein
	190 cm gelbe, bunte, z. T. grüne, feinstgeschichtete Mergel
	0,1—0,3 cm kohlige, oben feuerrote Schicht
	35 cm violettrotliche, bituminöse, limnische Mergel *** <i>Limnaeus dilatatus</i> Noulet, <i>Melania Escheri</i> , Heliziden
475 m	oben voll Kalkkonkretionen ** Krebsreste
	230 cm graue, dunkelgelb gefleckte Mergel unten z. T. bunt mit kleinen Kalkkonkretionen
	140 cm kräftig gelb, z. T. rostgelb gefleckte Mergel
	20 cm leicht bituminöse Mergel * Kohlenrestchen, evtl. limnisch
	30 cm rötlichbrauner, sehr reiner limnischer Kalk (Algenkalk?), lokal
	20 cm grüne Glimmermergel *** Deckel von <i>Bythinia glabra</i>
470 m	150 cm gut gebankter Glimmersandstein, voll Rippelmarken und Wurmsspuren
	25—30 cm gelbbrauner, oben plattiger Stinkkalk = limnische Leitniveau
	0,3 cm kohlig
	25 cm violettrotliche, dunkle, bituminöse Mergel ** limnisch
	60 cm weissliche, kalkige Mergel * <i>Melania Escheri</i>
	120 cm hellgraue, unten zunehmend rostgelb gefleckte Mergel
	80 cm kräftig gelbe, sandige Mergel
465 m	150 cm durchziehende Mergelsandsteinbank (vgl. die Bemerkung zum Profil, unten)

Kote:

465 m		80 cm graue, gelbgefleckte, feinsandige Mergel
		200 cm bunte, feinstgeschichtete, dichte Phragmitesmergel * mit zwei roten Lagen
		50 cm grauer, braungelb gefleckter, feiner Sandstein
		200 cm graue, gelbgefleckte, sandige Mergel
460 m		70 cm grauer, ganz gelbgefleckter, feinstgeschichteter, sehr feiner Mergelsandstein
		100 cm graue, gelbgefleckte, feinstgeschichtete, sehr sandige Mergel
		25—30 cm schwärzliche, bituminöse, sandige Mergel * Heliziden
		40 cm graugelbe, kalkige Mergel
		60 cm gelber, massiger Mergelsandstein mit grünen Wurmsspuren
		20 cm gelbe, sehr kalkige, sandige Mergel
		30 cm leicht bituminöse Mergel
		oben mergelig
455 m		300 cm grauer Knauersandstein, partienweise gelbgefleckt

Bemerkung: Dem Mergelsandstein auf Kote 467 m entspricht etwa 100 m weiter im Süden eine 7 m mächtige Knauersandsteinrinne, die mit ihrer Basis bis auf Kote 460 m hinabreicht. An der Basis führt dieser Knauersandstein Knochenreste und überhaupt sehr grobes Material, vereinzelte Gerölle bis 1,3 cm Durchmesser. In den unteren Partien finden sich auch häufig Ophiolithtrümmer. Am Entlisbergkopf sind auch die feineren Partien desselben Sandsteinhorizontes reich an ophiolithischem Material: Es handelt sich um den Ophiolith-Sandsteinhorizont vom Sihlzopf. Charakteristisch ist für diesen Horizont eine Grobsandlage direkt im Liegenden, bestehend aus eckigen Trümmern aller Art (vgl. Küssbacher Tobel, S. 223, «Polyterrasse», S. 249).

rechte Schale noch zusammenhängend, was auf ruhige Sedimentationsverhältnisse hindeutet. Diese Sandsteinbank liegt wenig unter dem limnischen Leitniveau, das hier nicht mehr aufgeschlossen ist. Unter dieser Sandsteinbank folgt eine Zone mit vorwiegend bunten Mergeln und einzelnen deutlichen Knauersandsteinrinnen. Unterbrochen durch eine kleine Sackung, kann von Kalkofen nach S die Molasse wieder zusammenhängend verfolgt werden. Stratigraphisch 25 m unter der oben erwähnten Knauersandsteinbank, erkennt man eine mehrere Meter mächtige Glimmersandstein- und Glimmermergelzone: Die Glimmersandsteinzone von Langnau. Darunter liegen auffallend rote Mergel und gut geschichtete Mergelsandsteine, welche ebenfalls auf ruhige Sedimentation schliessen lassen. Gegenüber der Spinnerei Langnau ist auf Kote 475 m ein Knollenkalk aufgeschlossen. Er zeigt wie die übrigen Molasseschichten ein etwas grösseres Gefälle als die Sihl und taucht niveaumässig bei der Mündung des Baches von Kalkofen unter das Sihlbett. Er geht in nördlicher Richtung, lokal in rote, knollige Mergel über, gegen S lässt er sich noch weit verfolgen. Der Langnauer Kalk ist für die Erkenntnisse der stratigraphischen Zusammenhänge von grösster Bedeutung.

Der **Langenberg** ist eine isolierte Scholle, welche leicht gegen N geneigt ist. Auf Kote 500 m steht am Gontenbach ein 7 m mächtiger radiolarit-reicher Knauersandstein an. Darunter liegt ein glimmerreicher Sandstein, welcher der Langnauer Glimmersandsteinzone entspricht. 15 m über dem Radiolaritsandstein folgt ein hellgrauer, pseudogranitischer Sandstein und darüber eine 15 m mächtige Glimmersandsteinzone mit einem eingeschalteten limnischen Kalk, wahrscheinlich ein Algenkalk. Die Kuppe des Langenberges wird durch die gleiche Knauersandsteinbank gebildet wie am Entlisberg. Sie liegt 45 m über dem limnischen Leitniveau. Die stratigraphische Stellung der Langenbergscholle ist somit festgelegt. Gegenüber dem rechten Sihlhang scheinen die Schichten 10—20 m höher zu liegen, so dass eine leichte tektonische Störung vermutet werden kann («**Langenberg-Flexur**»). Die Molasse bildet in der Ebene zwischen Gontenbach und Langnau an mehreren Stellen den direkten Untergrund, so bei Pkt. 471,7, Knauersandstein im Wäldchen NW Höfli. Die Sihl fließt auf Molasse.

Von Langnau weg sihlaufwärts bis Station Sihlbrugg nimmt das Sihltal einen andern Charakter an. Es wird zum engen und tiefeingeschnittenen Waldtal. Der Vergleich der Molasseschichten zeigt, dass die beiden Talseiten sich genau entsprechen, ohne dass tektonische Störungen angenommen werden müssten. Es handelt sich um eine rein durch Erosion entstandene Talstrecke. Der Sihlrain bei Langnau besteht fast bis zuoberst aus Molasse. Die oberste, mächtige glimmerreiche Sandsteinbank, auf welcher nur eine geringe Moränenbedeckung lagert, liegt bereits über dem limnischen Leitniveau und entspricht der Glimmersandsteinzone vom Entlisberg. 35 m darunter liegt der Radiolaritsandstein, welcher auch am Langenberg vorkommt. Darunter folgen, schlecht aufgeschlossen, bunte, rote Mergel. Im Abschnitt zwischen dem Risletenfelsen und den Hebeisenbächen sind die Aufschlüsse ausgesprochen schlecht, obwohl auf dieser Strecke zahlreiche Bäche in die Sihl münden. Wesentlich besser sind die Aufschlussverhältnisse am rechten Sihlhang. In der Geissau S Gattikon ist der **Langnauer Kalk** mit limnischen, bituminösen Mergeln im Hangenden auf Kote 480 m aufgeschlossen. Damit gelingt es, die Lücke bei Gattikon eindeutig zu überbrücken. Unter mächtigen Knauersandsteinbänken, welche deutlich gegen NNW einfallen, zieht der Kalk, schlecht aufgeschlossen, zum Hang gegenüber Station Sihlwald, wo er am Spazierweg über die Forststrasse auf Kote 520 m aufgeschlossen ist. Im Schlegeltobel, welches eines der unberührtesten Tobel mit prachtvollen Molasseaufschlüssen ist, liegt der Langnauer Kalk auf 500 m Höhe, 3 km weiter SSE im Wüsten Tobel bereits auf 600 m Höhe. Weiter sihlaufwärts folgt 20—30 m unter dem Langnauer Kalk eine auffällige Knauersandsteinzone (**Schüppenlochschüttung**), welche sich an den steilen Waldhängen des Schüppenloches mit einiger Mühe durchgehend verfolgen lässt. Diese Sandsteinzone stellt einen ausgezeichneten, ausserordentlich weit ausgedehnten Horizont dar. Bis Tabletten ist sie bereits auf 575 m Höhe angestiegen, am Mürgbach zieht sie auf Kote 585 m, am Wührenbach auf Kote 595 m durch und erreicht im Vorderen Scheid-



Abb.4 Das Niveau des «Appenzeller Granites» am rechten Sihlhang beim Ausgang des Zimmerbergtunnels der SBB bei Station Sihlbrugg. Aufschluss im gut gebankten Meilener Kalk. Der Meilener Sandstein folgt im Hangenden (auf dem Bild nicht mehr sichtbar). Die Hüllisteiner Nagelfluh fehlt hier. Die Mergel im Liegenden des Niveaus werden gegen oben durch 20 bis 30 cm stark bituminöse, fossilreiche Mergel abgeschlossen, welche in weiter Verbreitung direkt unter dem Meilener Kalk liegen, von diesem aber durch eine scharf ausgeprägte Schichtfläche abgetrennt sind. Deutlich zu erkennen ist die starke NNW-SSE-Klüftung.

bach und im Steinmattbach auf 605 m Höhe ihre Kulmination. Rund 600 m weiter im S ist sie bereits um 30 m abgesunken. Leider sind die Aufschlüsse am versumpften Hang bei Untere Halden schlecht.

Das Gebiet in der Umgebung von Sihlbrugg-Station ist geologisch ausserordentlich interessant, vielfältig und für die Erkenntnis der stratigraphischen Zusammenhänge von grösster Bedeutung. Allerdings gab es hier manche harte Nuss zu knacken und es ist wegen der fehlenden Aufschlüsse selbst jetzt noch nicht alles im Detail abgeklärt. Wir befinden uns hier im Kerngebiet der Käpfnach-Antiklinale. N Station Sihlbrugg fallen die Molasseschichten mit 3 % gegen N und tauchen z. T. unter das Sihlbett ab. Wesentlich steiler fallen die Schichten im S-Schenkel gegen SSE und erreichen am Sihlzipf bis 20 % SSE-Gefälle. Als Umrahmung des Stationsgebietes finden wir einen auffälligen, einmaligen, bis 2 m mächtigen Mergelkalk (A. von Moos, 1946). Er ist direkt beim SW-Portal des Zimmerbergtunnels anstehend (s. Abb. 4) und zieht, sehr gut aufgeschlossen, am linken Prallhang

der Sihl gegen NW und taucht bei Kote 500 m unter das Sihlbett. Vom Tunnelportal gegen S steigt er noch leicht an und erreicht gegenüber der Station auf Kote 525 m seine Kulmination. Schlecht aufgeschlossen taucht er weiter nach S beim NE-Portal des Albistunnels rasch unter das Sihlbett. Es handelt sich um den Meilener Kalk. Gleichsam als Bestätigung finden wir an der Strasse bei Pkt. 508, erosionsdiskordant im Meilener Kalk eingebettet, eine kleine Rinne mit Hüllisteiner Nagelfluh, wie sie typischer nicht ausgebildet sein könnte: feinkörnig, polierte schwarze Geschiebe, zäh, kristallinarm, im Maximum 1,3 m mächtig (s. Abb. 5). Damit vergesellschaftet, tritt der dunkel- bis hellgraue Meilener Sandstein auf, der an zahlreichen Stellen erosionsdiskordant direkt über dem Meilener Kalk liegend gefunden werden kann. Mit dem Auffinden des Niveaus des «Appenzeller Granites» ist uns der Schlüssel für die gesamte Stratigraphie des Sihltales in die Hand gegeben.

Sowohl die Tobel bei Steinmatt wie auch die verschiedenen Hebeisenbäche vermitteln gute Molasseprofile. Obwohl die Bäche nur 1 km auseinanderliegen, ist eine eindeutige Parallelisation keineswegs einfach. Am mittleren Hebeisenbach treffen wir folgende Verhältnisse: Über dem Niveau des «Appenzeller Granites» folgt zunächst eine 20—25 m mächtige Mergelzone: die unteren Hebeisenmergel. Im Hangenden liegt eine bedeutende Sandsteinschüttung, die Hebeisenschüttung, mit einem auffälligen Horizont von Mergelgeröllen an der Basis. Sie ist am Hebeisenbach 12 m mächtig und entspricht auf der Seeseite dem Knauersandstein an der Eisenbahnlinie im Scheller zwischen Oberrieden und Horgen, welcher seinerseits identisch ist mit der Nagelfluh von Stäfa (s. S. 228). Im Gebiet von Sihlbrugg bildet dieser Sandstein einen markanten Horizont. Von Kote 547—577 m folgt darüber eine 30 m mächtige Mergel- und Mergelsandsteinzone: die mittleren Hebeisenmergel. In ihrem unteren Teil liegen auf Kote 553 m helle, kalkige Mergel, die eine limnische Zone mit Glimmersandstein und Glimmermergeln einleiten (identisch Guggenzone). Eine ebensolche glimmerreiche Zone war anlässlich von Häuserbauten bei Obstgarten in Oberrieden auf Kote 420 m aufgeschlossen. Sie liegt stratigraphisch 50 m über dem «Appenzeller Granit». Gegen oben wird die Mergelzone durch bunte Mergel abgeschlossen. Im Hangenden treffen wir auf eine 20 m mächtige Knauersandsteinzone, in deren Zentrum eine 9 m mächtige Knauersandsteinbank liegt. Es ist dies die Schüppenlochschüttung, die wir schon am rechten Sihlufer von Sihlwald her verfolgt haben. Die Schüppenlochschüttung (s. S. 207) liegt somit 85—90 m über dem «Appenzeller Granit». Darüber folgt eine 45 m mächtige Mergelzone, die durch ihre vorwiegend bunten Mergel auffällt, die Zone der oberen Hebeisenmergel. Besonders in den unteren 20 m sind die durchweg rötlichen Mergel auffallend. In dieser bunten Zone ist am Hebeisenbach auf Kote 608 m ein heller, sandiger Knollenkalk eingelagert: der Langnauer Kalk. Er liegt stratigraphisch 100—105 m über dem Meilener Kalk. Im oberen Abschnitt über den oberen

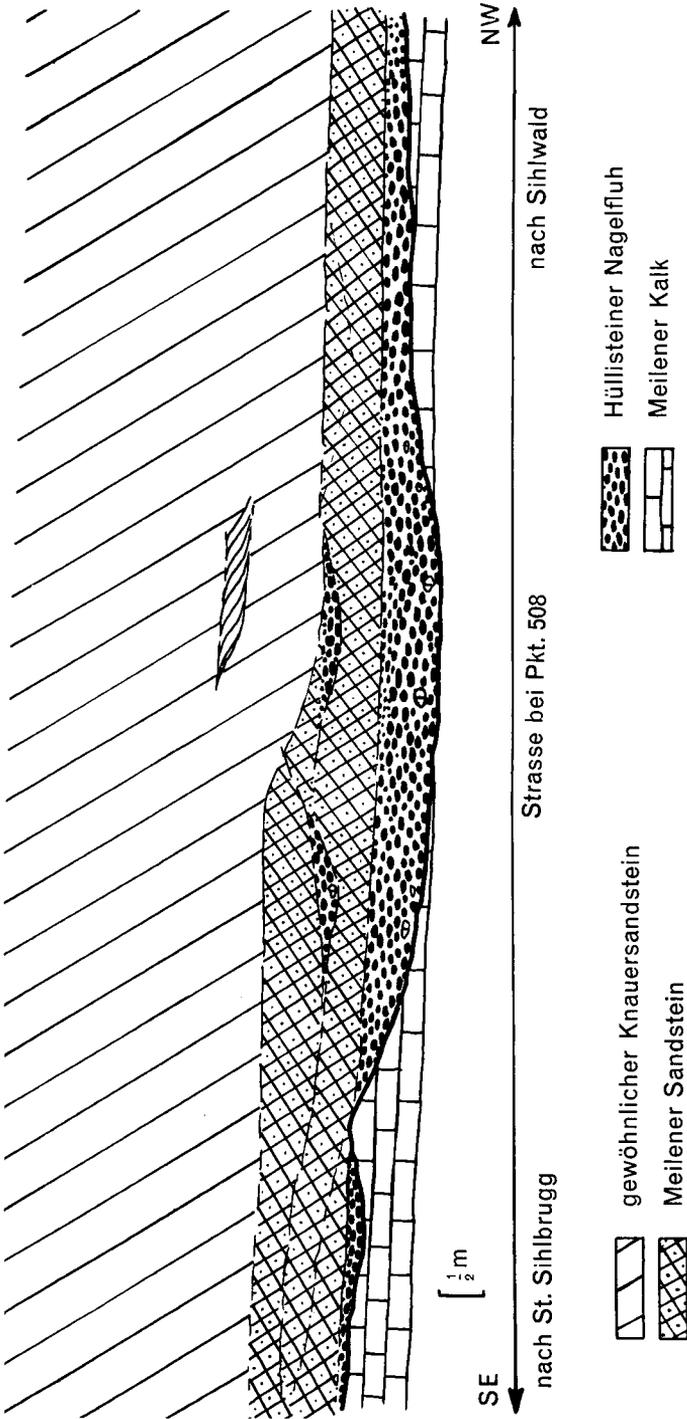


Abb. 5 Das Niveau des «Appenzeller Granites» an der Sihltalstrasse bei Pkt. 508 NW Station Sihlbrugg.

Hebeisenmergeln liegt die Ophiolith-Nagelfluh vom Sihlzopf. Am vorderen Hebeisenbach folgen erosionsdiskordant über einem hellen, massigen, rotgefleckten Knollenkalk zunächst 40 cm Ophiolith-Nagelfluh, welche nach oben in einen 7,5 m mächtigen, sehr glimmerreichen, grüngrauen Knauersandstein übergeht. Von hier weg bis zum Boden des Sihlwaldes folgen rund 20 m Grundmoräne.

Auf der rechten Sihlseite fehlt die Ophiolith-Nagelfluh, dafür ist in den Bächen von Steinmatt ein anderer markanter Horizont aufgeschlossen. Auf Kote 665 m findet man einen limnischen Horizont, bituminöse, kohlige, limnische Mergel, darüber einen Stinkkalk voll von limnischen Mollusken und direkt im Hangenden des Stinkkalkes einen sehr glimmerreichen Knauersandstein, der nach oben in einen eigentlichen Glimmersandstein übergeht. Er ist das Äquivalent des Glimmersandsteines am Entlisberg. Der limnische Horizont mit dem Stinkkalk ist identisch mit dem limnischen Leitniveau der Zürcher Molasse. Das limnische Leitniveau liegt im Sihltal bei Station Sihlbrugg stratigraphisch 150 m über dem Niveau des « Appenzeller Granites ». Wie schon erwähnt, ist die Ophiolith-Nagelfluh am Hang von Steinmatt-Pfefferberg und am Sumpfhänge (Quellhorizonte im Ausbiss der SSE fallenden Schichten) bei Untere Halden nirgends aufgeschlossen.

Am linken Uferhang lässt sich der « Ophiolith-Horizont » durchgehend verfolgen. Er liegt im Eschentobel auf Kote 610 m. Der Ophiolith-Sandstein besteht hier bis zu 60 % aus ophiolithischem Material. Am südlichen Röhreggbach liegt die Ophiolith-Nagelfluh auf 565 m Höhe. Sie lagert hier über bunten Mergeln und besitzt eine Mächtigkeit von 3,5 m. Sie geht nach oben in einen harten Sandstein über. Direkt im Hangenden finden wir einen zähen, rötlich geflammt Kalk. Dann ist auf 10 m die Molasse schlecht aufgeschlossen, stellenweise sind Glimmermergel erkennbar. Hierauf folgt ein 5,5 m mächtiger, sehr glimmerreicher Knauersandstein bis Glimmersandstein mit grüngelben, sandigen Glimmermergeln im Hangenden. Die Zone erinnert stark an die Glimmersandsteinzone vom Entlisberg. Das limnische Leitniveau müsste also im Liegenden, d. h. in den 10 m, die durch Schutt verdeckt sind, zu suchen sein. Die Ophiolith-Nagelfluh kann am Sihlzopf bis zur Strassenkurve beim Klemmeriboden verfolgt werden. Sie ist hier bereits auf 530 m Höhe abgesunken und taucht mit 20 % Gefälle gegen SSE unter die Strasse und das Sihlbett ab. Stratigraphisch 10 m über der Ophiolith-Nagelfluh können am Klemmeriboden bituminöse, limnische Mergel mit *Melania Escheri* und Planorben ausgegraben werden. Darüber liegt ein glimmerreicher Knauersandstein mit Glimmermergeln. Wir befinden uns im limnischen Leitniveau, das hier allerdings stark reduziert ist; die Ophiolith-Nagelfluh vom Sihlzopf liegt somit 10 m unter dem limnischen Leitniveau.

Im Gebiet von Dorf Sihlbrugg-Schiffli-Tobelmühle gestalten sich die Verhältnisse im Detail ausserordentlich spannend, aber auch ausserordentlich kompliziert. Wir finden partienweise wohl ziemlich zusammenhängende Aufschlüsse, sie sind aber oft unterbrochen und voneinander

Der Anteil der verschiedenen Gesteinsarten am Molasseprofil beträgt:

	Sihltal bei Station Sihlbrugg Hebeisenbäche, Eschentobel, Rohreggtobel etwa 150 m mächtiges Profil	Zimmerberg Pfefferberg ob Station Sihlbrugg etwa 200 m mächtiges Profil
Nagelfluhen	2 %	—
Knauersandsteine	43 %	45 %
Mergelsandsteine	20 %	17 %
Mergel	34 %	37,5 %
Kalke	1 %	0,5 %

abgetrennt durch weite Flächen mit mächtiger Moränen-, Schotter- und Schuttbedeckung. In einem Gebiet, wo Störungen sicher vorhanden sind, gestaltet sich die Erkenntnis der detailstratigraphischen Zusammenhänge recht schwierig und unsicher. Bleiben wir zunächst auf dem linken Sihlufer. Der Hang vom Schweikhof bis zur Sihl hinunter ist in seiner Neigung bestimmt durch das S-Fallen der Molasseschichten. Es handelt sich vorwiegend um schuttbedeckte Molasseschichtflächen. Der Schweikhof selbst liegt auf einem kleinen Moränenhügel. Die Molasse ist im Talbach gut aufgeschlossen. Die Sandsteine und Mergel sind auffällig stark NS geklüftet. Das Gehänge bei Wesematt ist ebenfalls durch die Molassestrukturen bedingt. Die Stellung des ganzen Komplexes ist recht schwierig zu deuten. Von grosser Wichtigkeit ist der Knollenkalk, der von Kote 630—640 m an der Oberkante des rechten Hanges des Talbachtobels anstehend ist. Es handelt sich sehr wahrscheinlich um den gleichen Knollenkalk wie er bei Waldgatter N Schweikhof auf 770—780 m vorkommt (s. S. 202). Damit ergibt sich, dass der Talbachkomplex mit der Molasse der eigentlichen Albiskette in Zusammenhang gebracht werden muss.

Im Gebiet von Sihlbrugg folgen direkt am linken Ufer zunächst Schotter, doch ist bereits an der Strassenkurve bei Pkt. 561 ein Knauersandsteinsporn anstehend. An der Strasse nach Thal ist Molasse bis etwa Kote 580 m aufgeschlossen. Darüber folgen die mächtigen Kohlgrubschotter. Die Schichten fallen ganz leicht mit 1—2° gegen SSE ein. Auf Kote 560 m ist ein Knauersandstein mit Geröllschnüren aufgeschlossen. Auf der rechten Sihlseite sind die Molasseaufschlüsse besser und zusammenhängender. Gleich nach dem Überschreiten der Holzbrücke betreten wir Molasseboden. Am bewaldeten Hang von Sihlhalden fällt die mächtige Knauersandsteinbank auf, welche auf Kote 545 m nach S unter die Strasse abtaucht. Weiter S ist am Hang nur noch blockreiche Moräne aufgeschlossen. In nördlicher Richtung zieht die Bank zur Wegkurve auf Kote 580 m hinauf, biegt dann rechtwinklig gegen NE ab und lässt sich am Steilhang S Zimmerberg noch auf 1 km Länge verfolgen. Im Tobel bei Tobelmühle liegt sie auf 600 m Höhe. An ihrer Basis finden sich hier wie auch an der Sihlhalden einige Geröllschnüre. Auffällig ist der hohe Ophiolithgehalt besonders im Sandanteil. Im Tobel bei Dürrenmoos zieht sie auf Kote 615 m durch. Bei Neuhalden liegt sie bereits auf 675 m Höhe. Die Wiesen von Neuhalden liegen auf prachtvollen Schichtflächen. Stratigraphisch 20 m höher lässt sich eine weitere mächtige Sandsteinschüttung noch weiter nach N verfolgen

bis zum Abschnitt unter Pkt. 772,8. Hier dürfte die Sandsteinschüttung der Sihlhalden auf etwa 710 m Höhe liegen. Noch weiter nördlich ist die Molasse durch Moränenmaterial verdeckt. Das Gebiet von Sihlbrugg-Dorf liegt somit mitten im S-Schenkel der Käpfnach-Antiklinale. Von Kote 545 m an der Strasse bei Sihlhalden konnten wir dem Anstieg der Sandsteinschüttung direkt bis Kote 680 m folgen und sie indirekt bis Kote 710 m nachweisen. Damit ist allein in diesem Abschnitt, auf 1,25 km quer zum Streichen, ein Absinken der Schichten um 165 m nachgewiesen. Im Antiklinalscheitel dürfte die Sandsteinbank der Sihlhalde etwa auf 800 m Höhe liegen. Eine direkte Verbindung zwischen den Molasseaufschlüssen links und rechts der Sihl besteht nicht. Doch dürfte die Schüttung rund 125—135 m über dem limnischen Leitniveau liegen.

Wenn wir von Sihlbrugg aus der Strasse nach Hirzel folgen, so treffen wir erst bei Rich wieder auf Molasse. Zwischen Rich und Sihlhalde ist alles durch blockreiche Moräne verschüttet. An der Strassenkurve bei Rich ist direkt unter dem dort auf Kote 580 m anstehenden Schotter eine mehr als 3 m mächtige bunte Nagelfluh aufgeschlossen. Darunter liegt auf Kote 570 m ein 4,5 m mächtiger Knauersandstein. Die Schichten fallen hier mit 1,5—2° nach SSE ein, um bei Mettel in horizontale Lagerung überzugehen. In der Kurve bei der Fabrikanlage im Schiffli liegen die Ausbisse der Molasseschichten in NNW-SSE-Richtung horizontal. Nagelfluh und Sandstein sind am rechtsseitigen Prallhang der Sihl unter Kohlgrub aufgeschlossen. Die Schichten fallen hier 1—2° nach SW.

Auf der linken Sihlseite steht direkt unterhalb des Wehres bei Schiffli über rötlichen, splittrigen Kalkmergeln ein Knollenkalk von ½ m Mächtigkeit an (Kote 545 m). Über dem Knollenkalk folgen 80—100 cm bituminöse, grüne Mergel, 3,5 m höher schwärzliche, bituminöse, fossilreiche Mergel (35 cm). Über diesen liegen sehr glimmerreiche Mergel- und Sandsteinschichten. Weiter am Hang sihlaufwärts fällt eine mächtige Knauersandsteinbank auf, die etwa 10 m über dem Knollenkalk liegt. Einen halben Kilometer vom Wehr aus weiter flussaufwärts treffen wir auf einen prachtvoll entblössten Molassehang. Unser Knollenkalk vom Schiffli liegt hier auf 560 m Höhe. Stratigraphisch 10 m höher folgt über bunten Mergeln die mächtige Knauersandsteinbank an der Basis mit Geröllen. Sie führt reichlich Schwemmholz und erscheint darum von dunkelgrauer Farbe. Von besonderem Interesse ist der hohe Gehalt an Biotit. Sie ist identisch mit der Nagelfluh am Prallhang unter Kohlgrub. Die mächtige Bank ist an WSW-ENE streichenden, eigenartig verbogenen Klüftflächen abgebrochen. Die starke Klüftung dieser Zone ist auffällig. Man erhält unbedingt den Eindruck, dass horizontale Bewegungen massgeblich an der Entstehung dieser Klüftung beteiligt waren. Über der Nagelfluh folgt eine in mehrfacher Hinsicht sehr auffällige, eigenartige, mehr als 10 m mächtige Zone limnischer, grünbrauner Mergel. Diese sind voll gespickt von Kalzitkristallen, die nur als Bruchstücke von Kalzitharnischen im Mergel gedeutet werden können. Eingelagert in diese Mergelzone ist eine ½ m mächtige Bank eines hellen, milchweissen, groben Sandsteines, der an marine Grobsande erinnert. In seiner Erscheinung ist er bemerkenswert. Über den Mergeln folgt ein beigefarbener

Knollenkalk mit limnischen Fossilien. Er ist stark ausgelaugt. Die Mergelzone bildet einen Quellhorizont, denn sie ist überlagert von verschwemmtem Moränenmaterial. Zwischen den Aufschlüssen an der Sihlhalde und der eben besprochenen Molassezone im Schiffli ist keine grössere NS verlaufende Störung vorhanden. Die Nagelfluh von Mettel liegt stratigraphisch 50—60 m über der Sandsteinbank der Sihlhalde. Unter Berücksichtigung der Gefällsverhältnisse ergibt sich, dass im Gebiet von Schiffli **S Dorf Sihlbrugg** die Molasseschichten gegenüber ihrer Lage im Antiklinalgebiet von Sihlbrugg-Station (Albis-Antiklinale von R. STAUB, 1938) um 280—300 m abgesenkt sind.

4. Die linke Seite des Zürichseetales

Der Abschnitt Zürich–Oberrieden–Horgen

Die mächtigen Moränenmassen des Zürichstadiums nehmen das Gebiet zwischen Enge und Wollishofen ein. Bei Wollishofen, im Mutschellen und gegen den See hin, erreichen sie eine Mächtigkeit von über 40 m. Man hat den Eindruck, als ob sie hier, d. h. im N des Neubühls, ein «Loch» auffüllen würden. Das Neubühl ist bereits ein Molassehügel mit geringer Moränenbedeckung.

Am See unten tritt Molasse zum erstenmal etwas nördlich von Bendlikon auf. Aufschlüsse sind aber wegen der dichten Überbauung des Gebietes kaum zu finden. Wir sind daher in Bezug auf die nördlichsten Molassevorkommen auf die Angaben auf der Karte von A. WETTSTEIN (1885) angewiesen. Sicher ist, dass die Bahnlinie S von Station Kilchberg weg mehr oder weniger auf einer Molasseunterlage verläuft. Der Molasseausschnitt, der infolge der Moränenzüge des Zürichstadiums nur ganz schmal ist, gewinnt nach S zu rasch an Breite und ist bei Thalwil bereits 1 km breit. Deutlich erscheinen die Moränenwälle dem Molassesockel aufgesetzt. Dieser steigt mit dem allgemeinen Gefälle der Molasseschichten gegen S immer weiter an. So liegen die obersten Molasseaufschlüsse bei Station Horgen-Oberdorf bereits auf 500 m Höhe. Auf der leicht nach N abfallenden Molasse kam es auch zur Ausbildung deutlicher Schichtflächen. Die angenehme Steigung auf diesen Schichtflächen war massgebend für die Anlage des Strassennetzes, der Siedlungen und auch für den Verlauf der Eisenbahnlinie. Der Anstieg der Eisenbahnlinie von Thalwil bis N Station Horgen-Oberdorf ist identisch mit dem Gefälle der Molasseschichten.

Sehr schön aufgeschlossen ist die mächtige Sandsteinschüttung auf Kote 520—525 m hinter der Färberei Thalwil. Sie liegt stratigraphisch etwa 75 m über dem Meilener Kalk. Sie kann noch etwa $\frac{1}{2}$ km weiter nach N verfolgt werden und taucht bei Marbach unter das Niveau des Sees. Bis Dickenbach bildet dieser Sandstein die Terrasse, auf welcher die Eisenbahnlinie verläuft. Von hier weg lässt sich stratigraphisch 10 m höher eine weitere mächtige Sandsteinschüttung verfolgen. Als gut ausgeprägte Terrasse zieht sie weiter bis etwa ins Niveau der Kirche Oberrieden. Dieser **Knauersandstein** entspricht der Schüppenlochschüttung im Sihltal. Eine weitere Sandsteinterrasse liegt im Gebiet von Oberrieden an der Halden un-

gefähr 60 m über dem Meilener Kalk. Im Scheller schneidet die Bahnlinie die mächtige Schüttung, die etwa 30 m über dem Meilener Kalk liegt, welche wir schon im Sihltal (Hebeisenschüttung) kennengelernt haben. Erwähnenswert wäre noch, dass anlässlich von Häuserbauten im Obstgarten bei Oberrieden auf Kote 420 m ein Glimmersandstein aufgeschlossen war. Dieser Glimmersandstein liegt stratigraphisch 50 m über dem Meilener Kalk und entspricht dem Glimmersandsteinniveau am Hebeisenbach Kote 553 m (vgl. S. 209). Eine andere Sandsteinterrasse zieht vom Grenzweg Kote 440 m zwischen Horgen und Oberrieden über die Einsiedlerstrasse zum Rotbühl Kote 465 m und verschwindet dort unter Moränenschutt.

Der Abschnitt Horgen-Käpfnach-Ober Ort-Unter Ort

Wir gelangen hier in ein klassisches Gebiet der Zürcher Molasse, denn hier befindet sich das grösste und zugleich älteste Molassekohlenbergwerk der Schweiz (vgl. S. 168, 269). Zudem liegt das Kohlenbergwerk von Käpfnach im Kuppelgebiet der Käpfnach-Antiklinale. Das Kohlenlager ist im Gebiet zwischen Meilibach und Aabachtobel eingehend erforscht worden. Was die geologischen Verhältnisse betrifft sei auf die ausführlichen Arbeiten von E. LETSCH (1899); E. LETSCH und E. RITTER (1925) und A. VON MOOS (1946, 1947) hingewiesen.

Von der Horgener Allmend ist seit langer Zeit ein auffälliger, 2 m mächtiger Mergelkalkhorizont bekannt (vgl. A. ESCHER VON DER LINTH, 1844; ALB. HEIM, 1919; A. VON MOOS, 1946). Es ist dies derselbe Kalk, den wir aus dem Gebiet von Station Sihlbrugg kennengelernt haben. Er liegt rund 65 m über dem Kohlenlager von Käpfnach, und auf Grund dieser Zusammenhänge wurde unter der Leitung von A. VON MOOS (1946) das Käpfnacher Flöz bei Station Sihlbrugg rund 40—50 m unter dem Sihlbett erbohrt, womit zugleich die Richtigkeit der Zusammenhänge erwiesen wurde. Im Laufe unserer Untersuchungen konnten wir eindeutig nachweisen, dass es sich dabei um den Meilener Kalk handelt¹²⁾. Der Mergelkalk auf der Horgener Allmend ist identisch mit dem Niveau des «Appenzeller Granites». Die Aufschlussverhältnisse im dicht überbauten Gebiet von Horgen gestalten sich recht schwierig. Ausser den von A. VON MOOS (1946) angeführten Fundpunkten auf der linken Seite des Aabachtobels fand ich den Kalk an der Heubacherstrasse Kote 480 m. Er bildet hier die Fläche, auf der das neue Schulhaus steht. Ferner ist der Kalk anstehend unterhalb «Kelli» Kote 460—450 m, quert den Friedhof im obern Abschnitt, zieht, auf Grund von Lesesteinen zu schliessen, oberhalb der Rütelerstrasse zur Stockerstrasse, quert diese auf etwa Kote 435 m und dürfte niveaumässig bei Pkt. 413,3 unter den Zürichsee abtauchen. Von Interesse ist noch folgende Tatsache: Am

¹²⁾ Schon vor mehr als hundert Jahren hat A. ESCHER VON DER LINTH (1844) die Vermutung ausgesprochen, dass es sich beim Horgener Kalk um denselben Kalk wie bei Meilen handeln könnte. Von den Kalksteinbrüchen, die zu ESCHER's Zeiten sowohl in Meilen wie in Horgen in Betrieb waren, ist seit langer Zeit überhaupt nichts mehr zu sehen. Sie sind längst vollständig zugeschüttet oder verbaut worden. Dass der Meilener Kalk mit dem Niveau des «Appenzeller Granites» identisch sei, ahnte ESCHER allerdings nicht.

Kelliweg Kote 455 m, also genau im Niveau des Meilener Kalkes, besteht eine Mauer vollständig aus Blöcken der typischen, feinkörnigen Hüllisteiner Nagelfluh. Die Vermutung liegt nahe, daß die Blöcke von Ort und Stelle stammen, dass also hier eine Einzelrinne von Hüllisteiner Nagelfluh durchziehen würde wie im Sihltal bei Station Sihlbrugg.

Mit einem Gefälle von 5 % sinken die Schichten im Gebiet von Horgen nach NNW ab. Auf der Horgener Allmend erscheint dieses Gefälle bereits abgeschwächt (etwa 3 %) und bei «Wassergass» stehen wir im Scheitel der Käpfnach-Antiklinale. Der Antiklinalscheitel zieht von hier in WSW-Richtung unter dem Bergweier durch in gerader Linie zur Station Sihlbrugg, in ENE-Richtung über Unter Ort in den See hinaus. Bei «Wassergass» liegt der Meilener Kalk auf Kote 515 m. Weiter nach SE senkt er sich wieder und quert den Aabach auf Kote 490 m. Hier hat er bereits ein Gefälle von 6—8 % gegen SSE. Auf der rechten Tobelseite ist der Kalk nur schlecht aufgeschlossen und weiter gegen E durch Glazialschutt verdeckt. Am Meilibach ist er auf Kote 485 m anstehend. Das Niveau zieht von hier weg über Steinacher, ob Mittel Ort zum Zopfbach und quert diesen auf Kote 425 m (dunkelgrauer Sandstein des Niveaus). Bei Pkt. 410,6 taucht es unter die Seeoberfläche ab. Zum Schluss seien noch zwei ausgeprägte Sandsteinzonen erwähnt. Die eine, nur wenig über dem Kohlenlager, quert den Meilibach etwa auf Kote 460 m, zieht über Neumatt zum Aabachtobel und bildet den grossen Wasserfall auf Kote 470 m. Linksseitig lässt sie sich im Mühletal am Steilhang weiterverfolgen bis nach Horgen hinein. Noch zur selben Sandsteinzone von Mittel Ort rechnen wir die Knauer-sandsteinbank, welche am Meilibach 10 m höher liegt und vom Sandbühl über Mittel Ort bis Ober Ort zieht. Die zweite Sandsteinzone liegt stratigraphisch etwa 30 m tiefer. Sie bildet die Terrasse von Unter Ort, quert den Meilibach bei 435—440 m Höhe und lässt sich als prachttvolle Schichtterrasse der Seestrasse entlang bis zur Mündung des Aabaches verfolgen.

Das Gebiet von Wädenswil

Schon aus dem vorhergehenden Abschnitt ist ersichtlich, dass die Molasse-schichten im Südschenkel der Käpfnach-Antiklinale viel stärker nach SSE abfallen als sie im Nordschenkel nach NNW absinken. Die Käpfnach-Antiklinale ist eine asymmetrische Antiklinale. Dafür ist ihr Südschenkel auch viel weniger, nämlich nur etwa 3 km breit. Wädenswil liegt genau in der Synklinalmulde. Von Käpfnach weg bis Wädenswil befinden wir uns wiederum in einer berühmten Landschaft. Es ist dies das Gebiet der rückläufigen Terrassen (vgl. u. a. N. PAVONI, 1953). Bereits im Gebiet von Thalwil, dann auch bei Unter Ort-Bätbur und anderen Orten haben wir Schichtterrassen kennengelernt, nun aber stossen wir bei Rüti NW Wädenswil auf eine eindruckliche Terrassenlandschaft wie sie nur noch jenseits des Sees in ebenbürtigem Ausmass gefunden werden kann, und zwar handelt es sich eindeutig um Molasse-Schichtflächen.

Stratigraphisch 30 m über dem Meilener Kalk liegt die mächtige Hebeisen-schüttung. Sie zieht von Grossholz Kote 515 m über Langwies durch das Winter-

bergholz und Stoffel bis nach Wädenswil hinein (Kote 430 m unter Pkt. 443,1). Stratigraphisch 10—25 m höher liegen im Raum von Wädenswil zwei weitere Schüttungen. Weitere Knauersandsteine liegen 80 und 90 m über dem Meilener Kalk. Sie treten im Landschaftsbild stark in Erscheinung: Sie bilden den oberen, scharf ausgeprägten Rand am Rütibühl und Winterbergholz. Auf ihren Schichtflächen verläuft die Strasse von Neubühl nach Wädenswil. Bei Pkt. 485,1 verlässt die Strasse die Schichtfläche, da die Schichten hier in horizontale Lage umbiegen. Die 90er-Schüttung ist eine ophiolithreiche bunte Nagelfluh, die unter Pkt. 477,0 durchziehend über Lehmhof (Kote 480 m) bis nach Rutenen (Kote 490 m) verfolgt werden kann, wo sie unter Moränen verschwindet. 10 m tiefer wird sie von einem Knauersandstein treu begleitet. Bei Rüti liegt eine prachtvolle Nagelfluh-Schichtterrasse neben der anderen, so bei Mittler Rüti, bei Hinter Rüti (Schichtrippen), bei Vorder Rüti-Bühlenebnet und im Hangenmoos. Die Nagelfluh von Vorder Rüti biegt auf Kote 515 m in den Wald von Gulmen ab, bildet auf Kote 515 m den schönen Wasserfall und kann von hier weg in fast horizontalem Verlauf dem Hang entlang bis ins Tobel ob Untermosen auf Kote 510 m verfolgt werden. 10 m darüber liegt ein mächtiger Knauersandstein, der ungefähr der Ophiolithzone vom Sihlzopf entsprechen dürfte. Am Gulmenbach ist stratigraphisch 15 m über der Nagelfluh von Vorder Rüti eine dunkelgraue, schwemmholz- und kohlenführende Nagelfluh- und Knauersandsteinschüttung aufgeschlossen. Sie entspricht wohl dem kohlenführenden Nagelfluh-Knauersandstein am hinteren Steinmattbach Kote 660 m ob Station Sihlbrugg und liegt stratigraphisch direkt unter dem limnischen Leitniveau. Im Gebiet von Wädenswil ist unser limnisches Leitniveau also im Kalk und in den bituminösen Mergeln auf Kote 530—535 m zu suchen. Es ist aber nur noch atypisch ausgebildet und nicht mehr mit Sicherheit als solches zu erkennen. Noch höher folgen glimmerreiche Sandsteine, den Abschluss des Tobels bildet ein Knauersandstein, der bereits etwa 25 m über dem limnischen Leitniveau liegt.

Die Wädenswil-Synklinale zieht vom Bahnhof Wädenswil gegen Untermosen in Richtung Hirzel unter der Moränen- und Schotterdecke des Zimmerberges durch. Südlich dieser Linie macht sich bereits ein leichtes Ansteigen der Schichten gegen SSE bemerkbar, zunächst nur schwach, in der 90er-Schüttung, stärker bereits in der Nagelfluh, auf welcher die Obst- und Weinbauschule Wädenswil steht. Eine Glimmersandsteinzone, welche wahrscheinlich identisch ist mit dem Allberg-Sandstein ob Männedorf-Auf Dorf, liegt in ihrer Fortsetzung nach NW. Ganz besonders ist aber dieser SSE-Anstieg zu erkennen in der mächtigen, markanten Nagelfluh-Knauersandsteinschüttung, die bei Rothaus aus dem See aufsteigt, hinter der Mälzerei durchzieht, die mächtigen Wände beim Giessen bildet, in denen die Keller der Brauerei Wädenswil eingelassen sind, und sich bis Pkt. 468,3 verfolgen lässt. Habitus und stratigraphische Lage dieser gewaltigen Schüttung beweisen, dass wir uns hier im Niveau des « Appenzeller Granites » befinden. Vom See bis auf 470 m Höhe bildet die Nagelfluh eine prachtvolle Schichtfläche, auf welcher die Strasse und die Trasse der Südostbahn liegen.

5. Die rechte Seite des Zürichseetales

Wehrenbachtobel und Stöckentobel

Die ersten Molasseaufschlüsse beginnen bereits im unteren Abschnitt des Hornbaches auf Kote 425 m. Auch der Ausgang des Eisenbahntunnels bei Tiefenbrunnen liegt in Molasse. Als Gesamtes ergeben die Molasseaufschlüsse am Hornbach, an der Weinegg (Kartausstrasse Kote 450—460 m) und am Burghölzli eine zusammenhängende Molassezone, einen Molassesporn, hinter welchem eine mit Quartärmaterial ausgefüllte Rinne verläuft, die am Hornbach bei der Burgwies tiefer als auf 440 m hinunterreicht, somit gegenüber dem Burghölzlihügel um mehr als 60 m tief eingeschnitten ist. Im Bereich dieser Rinne fehlen darum am Hornbach Molasseaufschlüsse vollständig. Erst vom Zusammenfluss des Wehrenbaches mit dem Elefantenbach weg ist die Molasse wieder anstehend. Der Steilhang unter der Hirslanderstrasse und im hinteren Eierbrecht besteht aus Molasse. Im Stöckentobel wie am Wehrenbach stossen wir zunächst auf einen ophiolithreichen Sandstein und 8—10 m höher, auf Kote 465 m im Stöckentobel, auf Kote 475 m am Wehrenbach, auf eine auffällige, sehr schön ausgebildete limnische Zone. Es ist das limnische Leitniveau der Zürcher Molasse. Nach der klassischen Lokalität am Wehrenbach, die schon H. C. ESCHER VON DER LINTH (1807) bekannt war (vgl. S. 125), möchte ich dieses Niveau als Wehrenbachniveau bezeichnen. Nach dem starken Hochwasser vom 26./27. Juli 1953 konnte ich hier folgendes Profil aufnehmen:

Profil durch das limnische Leitniveau der Zürcher Molasse (Wehrenbachniveau) am Wehrenbach

aufgeschlossen nach dem Hochwasser vom 26./27. Juli 1953

14)	1,5—2,5 m	grauer, glimmerreicher Sandstein (≡ Glimmersandsteinzone vom Entlisberg, s. S. 203, 255)
13)	1,5—2,5 m	bunte, dichte, feinstgeschichtete Mergel
12)	0,4 cm	kohlige, limnische Mergel ** Planorben, Limnaea
11)	40 cm	gelbe bis rötliche, gut geschichtete, limnische Mergel, zum Teil mit Kalkknollen, oben bituminös, schwärzlich **
10)	100 cm	dichte, zum Teil rote Mergel mit bituminösen, grünlichen Zonen
9)	30 cm	grüne, dunkle, bituminöse, limnische Mergel, lokal mit bis 5 cm mächtigen Linsen von eingelagertem Stinkkalk
8)	25 cm	hellgrüne, dichte Mergel
7)	4—5 cm	bituminöse, limnische Mergel ***
6)	ca. 40 cm	hellgrüne, dichte Mergel
5)	30—40 cm	gelbbrauner Stinkkalk (Kote 476 m) *** grosse Planorben, Melanien u. a.
4)	10 cm	hellgraue Mergel
3)	35 cm	stark bituminöse, dunkle limnische, oben z. T. kohlige Mergel***
2)	ca. 50 cm	weissgraue, kalkige Mergel
1)	ca. 70 cm	weissgrauer bis weisslicher Knollenkalk (≡ Wetterkalk von Hombrechtikon)
	cm	graue, gelb gefleckte Mergel

Bemerkungen zum Profil: Die Schichten 1) bis 12) bilden zusammen das limnische Leitniveau der Zürcher Molasse. Das Profil gibt lokale Verhältnisse wieder. Besonders die

Schichten 7) bis 12) können stark variieren oder ganz fehlen, während 1), 3) und 5) eine unzertrennliche Einheit bilden, die nur auseinanderfällt in denjenigen Gebieten, wo das Niveau überhaupt reduziert ist. Schicht 1) oder 5) oder beide zusammen können dann fehlen oder doch stark reduziert sein. Das ganze Niveau ist eingespannt zwischen dem Glimmersandsteinhorizont vom Entlisberg direkt im Hangenden und dem Ophiolith-Sandstein und -Nagelfluhhorizont 8—10 m unter dem Stinkkalk des Niveaus, die beide eine ebensogrosse, wahrscheinlich aber noch grössere Ausdehnung besitzen wie das limnische Leitniveau. Der Knollenkalk des Niveaus (Schicht 1) entspricht dem Knollenkalk («Wetterkalk») von Hombrechtikon, s. S. 233 ff.

Wer heute die Fundstelle besucht, sieht von der natürlichen Schönheit des Bachlaufes nichts mehr. Sein Lauf ist eingeeengt und in «Ordnung» gebracht, zwischen mächtigen, meterdicken Betonmauern, überall gleich breit und ausgeebnet. Vom Wehrenbach lässt sich das limnische Leitniveau unter leichtem Gefälle durchgehend nach dem Stöckentobel verfolgen. Am Balgristweg, gleich N der Brücke, liegt es auf Kote 466 m (neuer Wert). An der Wasserstrasse, die von der Burgwies zur hinteren Eierbrecht führt, ist der Stinkkalk mit Glimmersandstein im Hangenden auf Kote 462 m (neuer Wert) am südlichen Strassenbord anstehend. Am Elefantenbach ist heute das Niveau fast schöner abgeschlossen als am Wehrenbach. Im Stöckentobel folgt über dem limnischen Leitniveau zunächst eine leicht gestörte Molassezone. Am Stöckentobelweg Kote 500 m sind limnische Mergel mit wenigen Millimetern Stinkkalk anstehend, die 40 m über dem limnischen Leitniveau liegen (*D o l d e r t o b e l z o n e*). Der mächtige Knauersandstein, der an der Eichhalde und am Kapfsteig auf Kote 520 m das Tobel umrahmt, liegt rund 55 m über dem limnischen Leitniveau. Direkt im Hangenden folgt ein weisser Kalk mit Heliziden, darüber bituminöse, grüne Mergel. Weiter bachaufwärts ist das Tobel in Grundmoräne eingeschnitten.

Am W-Hang des Burghölzlihügels findet man seltene Lesesteine des Stinkkalkes, die höchsten etwa auf Kote 474 m (neuer Wert). Das Niveau dürfte hier etwa auf 475 m Höhe liegen. Die Kuppe des Hügels wird durch eine Knauersandsteinbank gebildet, die stratigraphisch 25 m über dem limnischen Leitniveau liegt und einer weitverbreiteten Sandsteinschüttung entspringt (vgl. Sagentobel 505 m). Der Burghölzlihügel steht somit in annähernd normalem Schichtverband mit der Molasse im Wehrenbachtobel. Im Wehrenbach zeigen die Molasseschichten ein leichtes Gefälle von $\frac{1}{2}$ —1° nach NNW. Bemerkenswert sind die leichten Verbiegungen und Störungen der Schichten auf Kote 475—480 m. Von Kote 520 m bis zur Trichtenhauser Mühle fliesst der Bach auf stark verschwemmtem Moränenmaterial. Molasseaufschlüsse treffen wir erst wieder oberhalb der Trichtenhauser Mühle: auf Kote 580 m einen Knauersandstein und als einzelnes Vorkommen inmitten von Grundmoräne eine Knauersandsteinbank auf Kote 600 m.

Der Abschnitt Wehrenbachtobel-Küsnachter Tobel

In diesem Abschnitt sind die Molasseaufschlüsse ausserordentlich spärlich. Zudem handelt es sich stets um vereinzelte, isolierte Vorkommen. So ist es niemals möglich, gewisse Horizonte auch nur auf kleinere Erstreckungen ver-

folgen zu können, obwohl dies gerade in diesem Gebiet von ganz besonderem Interesse wäre. Wir sind vollständig auf petrographische Analogien angewiesen.

Nach A. WERTSTEIN (1885) ist Molasse im Hinterdorf bei Zollikon anstehend. Ebenso kam Molasse bei Häuserbauten oberhalb der Station Zollikon selbst zum Vorschein, stets unter Moränenbedeckung. Ein kleines, aber wertvolles Molasseprofil liefert uns der untere Abschnitt des Düggebachtobels: Auf Kote 425 m liegt hier ein weisslicher, mergeliger Knollenkalk (45 m über dem Meilener Kalk). Darüber folgen bituminöse Mergel mit Heliziden und eine Glimmersandsteinzone, die sogenannte Guggersonne. Auf Kote 435 m (neuer Wert) steht ein glimmerreicher Sandstein an und abermals knapp 10 m höher auf Kote 443 m ein gewöhnlicher 3—4 m mächtiger Knauersandstein. Dieser liegt etwa 65 m über dem Meilener Kalk. Weiter bachaufwärts folgt zunächst stark verschwemmte Grundmoräne, darüber im Bereich der Zolliker Terrasse blockreiche Moräne. Bis zum Küsnachter Tobel hat es keine Molasseaufschlüsse mehr. Selbst der recht tief eingeschnittene Kusenbach fliesst vollständig in Moräne. Molasse findet man erst wieder über dem mächtigen Moränengürtel des Zürcher Stadiums im Salster und am Ottlisberg. Am Ottlisberg ist S Waldburg auf Kote 615 m eine ophiolithreiche Molassenagelfluh aufgeschlossen. Ihre stratigraphische Stellung ist unsicher, doch könnte sie an die Basis der Albispasszone gehören. Die Kuppe des Ottlisberges besteht im nördlichen Teil aus Molasse.

Eine, wenn auch nur leichte Moränendecke verhüllt die Molassegeologie des Ottlisberges. Der Salsterbach fliesst ganz auf Molasse, aber ein zuverlässiges Molasseprofil lässt sich hier nicht aufnehmen. Erwähnenswert ist der Knauerstandstein auf Kote 584 m (Koord. 687,25/243,55). Er zeigt eine ausgeprägte Klüftung N 48° E. Dass es sich stets lohnt, auch das hinterste, scheinbar nichtssagende Bächlein abzuschreiten, bestätigte sich auch hier: Am rechten Nebenbächlein des Abflusses des Rumensees stossen wir auf Kote 550 m (Koord. 686,90/242,95) auf folgendes Profil:

30 cm	grüne, feine Glimmermergel
150 cm	feiner Glimmersandstein, voll Rippelmarken
20 cm	hellgrüne, feinstgeschichtete Glimmermergel
8 cm	gelbbrauner Stinkkalk **
5 cm	Kohle * mit kleinen Planorben
20 cm	dunkle, bituminöse, limnische Mergel, oben kohlig ** grosse Planorben
25 cm	leicht bituminöse Mergel * gut erhaltene Heliziden
40 cm	helle, kalkige Mergel
100 cm	heller, reiner Knollenkalk mit grossen ½—1 cm breiten Wurmgängen (?)

Man denkt sofort an das limnische Leitniveau. Auffällig ist allerdings die hohe Lage des Niveaus im Vergleich zum Wehrenbachtobel und zum Küsnachter Tobel. Es kann nicht sicher entschieden werden, ob es sich um das limnische Leitniveau oder um die Doldertobelzone handelt. Am Kusenbach, zwischen Rumensee und Itschnach, finden wir dieselbe limnische Zone schlecht aufgeschlossen auf Kote 560 m (Koord. 687,43/242,70), direkt unter einer mehr

als 5 m mächtigen quartären Sandrinne, die die Fortsetzung der Schotterrinne im Küsnachter Tobel bildet.

Das Küsnachter Tobel

Das Küsnachter Tobel vermittelt uns einen ausgezeichneten Einblick in den stratigraphischen Aufbau der Zürcher Molasse. Die ersten Molasseaufschlüsse beginnen bei der Fabrik im Oberdorf mit einem Knauersandstein, der im Bachbett auf etwa 427 m Höhe liegt. Es handelt sich um die mächtige Knauersandsteinschüttung, die 30 m über dem Meilener Kalk liegt. Beim grossen Wasserfall auf Kote 445 m finden wir die gleiche Schichtserie vor, die wir schon im Unterlauf des Düggebaches bei Zollikon kennengelernt haben. Über einer auffälligen Zone roter Mergel liegt der Knollenkalk der Guggerzone mit bituminösen Mergeln im Hangenden. Darüber folgen etwa 10 m mächtig die Glimmermergel und glimmerreichen Sandsteine der Guggerzone. Weiter tobelaufwärts, etwa beim Alexanderstein, erkennen wir an den canonartigen Seitenwänden verschiedene Schüttungsfolgen, von oben nach unten (neue Werte):

Auf Kote	515 m Knauersandstein, stratigraphisch	105 m über dem Meilener Kalk
Auf Kote	495 m Knauersandstein, stratigraphisch	85 m über dem Meilener Kalk
Auf Kote	480—485 m Knauersandstein, stratigraphisch	75 m über dem Meilener Kalk
Auf Kote	470 m Knauersandstein, stratigraphisch	65 m über dem Meilener Kalk

(identisch Knauersandstein Düggebach Kote 440 m, relativ glimmerreich mit kohlig-schwarzen Mergeln im Liegenden)

Noch weiter tobelaufwärts schaltet sich auf eine Erstreckung von gegen 400 m zwischen 85er- und 105er-Schüttung eine ganz besondere Sandstein-Nagelfluhschüttung ein, die hier knapp 95 m über dem Meilener Kalk liegen dürfte. Es handelt sich zum Teil um einen eigenartig groben Sand- bis Kalksandstein. Der Sandstein ist stellenweise geröllführend und enthält massenhaft eingeschwemmtes, kohliges Material, von kräftigen Ästen und Stammstücken bis zum feinsten Pflanzenhäcksel, wodurch der Sandstein eine dunkelgraue Farbe erhält. Man vergleiche damit den Sandstein unter dem vulkanischen Tuffhorizont an der Rengishalden bei Bischofszell (F. HOFMANN, 1951, S. 21). Über diesem Sandstein folgt im Hangenden eine 1,5 m mächtige Zone vollständig roter, z. T. etwas knollig-kalkiger Mergel, die im Hangenden in einen ½—1 m mächtigen roten, feinkörnigen Sandstein übergeht. Dieser auffällige rote Horizont lässt sich an der Basis des Wulphügels auf Kote 500 m mehrere hundert Meter durchgehend verfolgen. Ich möchte die ganze Abfolge roter Mergel plus roter Sandstein als **Rotzone der Wulp** bezeichnen. Über der Rotzone folgen an der Wulp weisse, gelbliche, knolligkalkige, oben leicht bituminöse Mergel. Diese sind identisch mit dem Langnauer Kalk. Sie gehen nach oben in bituminöse, sandige, dunkelbraune bis violettliche Mergel über, die zahlreiche guterhaltene terrestrische und z. T. limnische Schnecken enthalten. Messerscharf abgetrennt liegt über diesen der Bentonithorizont. Der Bentonit liegt im Küsnachter Tobel stratigraphisch 100 m über

dem Meilen er Kalk (nähere Beschreibung vgl. S. 171 ff. und S. 267). Es handelt sich um einen von primärer Erosion verschonten Rest vulkanischen Tuffs. Seine Erhaltung verdanken wir dem Umstand, dass am Wulphügel die 105er-Schüttung nicht oder nur als wenig tiefe Rinne ausgebildet ist.

Der Wulphügel und die Tobel der Seitenbäche, die linksseitig an der Basis der Wulp in den Küsnachter Dorfbach einmünden, vermitteln noch weitere ausserordentlich wertvolle Einblicke in den stratigraphischen Aufbau der Molasse. 35 m über dem Bentonit liegt das limnische Leitniveau in vollständig gleicher Ausbildung wie am Wehrenbach.

Profil durch das limnische Leitniveau im Küsnachter Tobel

20 cm	gelbbrauner, stellenweise schwarzer, massiger Stinkkalk *** mit zahlreichen grossen Melanien, Limnaeen, Planorben
30 cm	dunkle, bituminöse, limnische Mergel ***
ca. 100 cm	heller, weisslich-gelblicher Knollenkalk
40 cm	hellgraue Mergel

Bemerkungen: Das Niveau ist im Küsnachter Tobel an verschiedenen Stellen sichtbar, wenn auch meist schlecht aufgeschlossen: so am Dorfbach auf Kote 540 m (neuer Wert) über dem hellen Knollenkalk, am Wulphügel und weiter im S unter der Strasse auf Kote 545 m. Wenige Meter höher wird das Niveau stets von einem gut gebankten, graugrünen, muskowitzreichen Sandstein mit häufigen Rippelmarken (= Glimmersandstein vom Entlisberg) begleitet.

Profil durch Bentonit und «Rotzone der Wulp»

aufgenommen am Bach, welcher linksseitig am Fusse des Wulphügels in den Küsnachter Dorfbach mündet

Kote:

520 m ———

40 cm schwarze, bituminöse, sandige Mergel
60 cm bunte, kalkige, harte Mergel

150 cm gewöhnliche, graugelbe Mergel

etwa 10 m gut gebankter Mergelsandstein

510 m ———

510 m ———

50 cm	grünelbe Mergel	
10—20 cm	rote Mergel	
150 cm	grauer Knauersandstein, unten grob	
60—70 cm	bunte, rote, sandige Mergel, oben eher grau	
4—10 cm	hellgrauer Bentonit	
10—15 cm	dunkelbraune, bituminöse, sandige Mergel **	
50 cm	weisse bis gelbe, oben leicht bituminöse, knolligkalkige Mergel = Langnauer Kalk	
20 cm	rote, harte, sandige Mergel	} = « Rotzone der Wulp »
70 cm	roter bis graugrüner, sehr zäher, feiner, kalkiger Sandstein	
120 cm	rote, z. T. kalkige Mergel	
100 cm	gelbgrauer Mergelsandstein	

Acht Meter unter dem limnischen Leitniveau finden wir, z. B. am Weg zur Wulp auf Kote 530 m, einen Ophiolith-Sandstein, der in die Ophiolithzone vom Sihlzopf gehört. Das limnische Leitniveau kann auf Kote 540 m am linken Gehänge weit verfolgt werden. Bemerkenswert ist eine Schicht von grobem Sand in mergeligem Bindemittel auf Kote 525 m, die an der Basis der Ophiolith-Sandsteinzone vom Sihlzopf an zahlreichen Stellen immer wieder beobachtet werden kann (Entlisbergprofil S. 204, Polyterrasse). Tobelaufwärts werden die Molasseaufschlüsse unterbrochen durch die quartäre Schotterrinne am Cholenrain. Das limnische Leitniveau tritt aber noch weiter tobelaufwärts auf Kote 540 m wiederum auf. Es sind dies zugleich die letzten Molasseaufschlüsse. Am linken Seitenbach, der von der Egg herunterfließt ist die Molasse bis auf 610 m Höhe aufgeschlossen. Eine 10 m mächtige Nagelfluh-Knauersandsteinbank anstehend im Bach auf Kote 590 m unter der Schmalzgruebstrasse und der Knauersandstein auf Kote 600 m bilden die Unterlage des Plateaus der Wulp (Wulpwies-Hofstetten-Rütihau). Direkt im Hangenden der Nagelfluhschüttung, die hier stratigraphisch etwa 50 m über dem limnischen Leitniveau liegt, ist am Bach unter der Schmalzgruebstrasse eine limnische Zone mit limnischen, bituminösen Mergeln und Stinkkalk anstehend.

Am Heslibach S des Küssnacher Tobels ist Molasse zunächst am Steilhang unter der Allmend anstehend, dann folgen im Gebiet der Allmend mächtige quartäre Schuttmassen. Auf Kote 530 m sind rote Mergel, die identisch sind mit der Rotzone der Wulp, schlecht aufgeschlossen. Das limnische Leitniveau liegt auf 560 m Höhe am Bach S des Scheibenstandes. Der Stinkkalk des Niveaus fehlt hier bereits.

Zusammenfassend erhalten wir im Küssnacher Tobel folgendes Profil:

Kote (neuer Wert)	Schicht	stratigraphische Lage über dem Meilener Kalk
605 m	Knauersandstein	195—200 m
592 m	Limnische Zone	185—190 m
590 m	Mächtige Nagelfluh-Knauersandsteinschüttung = Wimisweid/Ebnet	185 m
	Vorwiegend Mergelzone	
565 m	Knauersandstein	160 m
	Vorwiegend Mergelzone	
540 m	Limnisches Leitniveau	135—140 m
530 m	Ophiolith-Sandstein = Ophiolith-Sandsteinzone vom Sihlzipf	125—130 m
520 m	Vorwiegend Mergelsandstein bunte, kalkige Mergel + 40 cm bituminöse, schwärzliche Mergel	
510 m	Knauersandstein	105 m
505 m	Bentonit	100 m
	Kalkige Mergel = Mergelkalk = Langnauer Kalk	
504 m	Rotzone der Wulp	
503 m	Knauersandstein mit Geröllagen und viel Schwemmholz	95 m
495 m	Knauersandstein	85 m
485 m	Knauersandstein	75 m
475 m	Knauersandstein	65 m
445 —	Glimmerreicher Sandstein + Glimmermergel:	
455 m	Guggerzone	
445 m	Knollenkalk der Guggerzone	45 m
427 m	Knauersandstein = Hebeisenschüttung = Nagelfluh Oetikon/Stäfa	30 m

Der Abschnitt Erlenbacher Tobel–Meilener Tobel

Die Moränenwälle des Zürichstadiums überqueren das Erlenbacher Tobel in seinem mittleren Abschnitt. Ihre Basis liegt hier etwa auf 520—530 m Höhe. Von hier weg steigen sie als mehr oder weniger mächtiger Gürtel über Buch (Buechwald) S Wetzwil–Toggwil–Bergmeilen bis Vorder Pfannenstiel. Unterhalb des Moränengürtels liegt das Gebiet prachtvoller, scharf ausgeprägter Terrassen, welche mit ihren Schichtflächen und steilen Rebärten dem Gehänge des Zürichseetales bis nach Feldbach hinauf seinen besonderen Reiz verleihen. Es ist ein reines Molassegebiet, das sich von hier weg bis zum obern Ende des Zürichsees hinzieht. Auf weite Strecken fehlt — zur grossen Freude des Molassegeologen — sozusagen jede Moränenbedeckung. Die Terrassen sind, wie sich im Laufe unserer Untersuchungen herausgestellt hat, Schichtterrassen, welche die Arbeit des Geologen vielfach erleichtern. Trotz diesen idealen Verhältnissen ist eine richtige Erkenntnis der Zusammenhänge auch hier, im Gebiet der unzähligen Sandsteinbänke, nicht ohne Schwierigkeiten zu gewinnen. Bei Erlenbach sind die Verhältnisse folgende:

Im Bereiche des Tunnels ist auf Kote 425 m ein Knauersandstein angeschnitten worden. Die Schichtterrasse des Hitzberges, auf der auch das neue Schul-

haus steht, wird durch den Knauersandstein auf Kote 455—460 m gebildet. In fast horizontalem Verlauf zieht der Sandstein über Isler unter der Terrasse der Anstalt Martinsstift zu Pkt. 475,5. Hier liegen zwei Bänke übereinander. Die Terrasse zieht bis Vorder Habüel in Herrliberg. Der Sandstein des Hitzberges liegt 75 m über dem Meilener Kalk. Ob dem grossen Wasserfall folgt im Erlenbacher Tobel auf Kote 485 m eine auffällige Knauersandsteinrinne. Sie steigt bachaufwärts gegen ESE leicht an und quert den Bach in stark reduzierter Mächtigkeit etwa auf Kote 495 m. Die roten Mergel im Liegenden gehören in die Rotzone der Wulp. Der Sandstein entspricht also dem 105er-Sandstein im Künsbacher Tobel. 25 m höher zieht im Erlenbacher Tobel eine weitere mächtige Sandsteinschüttung durch. Auch sie zeigt einen leichten Anstieg nach ESE. Von Kote 525 m (neuer Wert) unter der Kappelgasse steigt sie auf 537 m (neuer Wert) bei der Kittenmühle, wo sie die Bäche quert. Es ist die Ophiolith-Sandsteinschüttung. 8—10 m höher stossen wir auf einen weisslichen Knollenkalk mit bituminösen Mergeln (Kote 450 m), darüber folgt ein Glimmersandstein: Es ist das limnische Leitniveau, das hier wahrscheinlich schon primär ziemlich stark reduziert ist. Damit ist die stratigraphische Stellung der Molasseschichten im Erlenbacher Tobel eindeutig festgelegt. Zugleich haben wir auch den Moränengürtel gequert.

Ganz besonders wichtig sind die Aufschlüsse am Molassehang ob Hof-Wetzwil, denn sie bilden die einzige eindeutige Verbindung des Zürichseegebietes mit dem Pfannenstielgebiet. Am Chappelibach liegen drei Knauersandsteinschüttungen übereinander, die erste 15 m, die zweite 25 m, die dritte, welche den oberen Rand des Tobels bildet, 45—50 m über dem limnischen Leitniveau. Alle drei Bänke sind ziemlich stark geklüftet und zeigen ein Gefälle bachabwärts nach SW (Erlenbacher Flexur). Die 50er-Schüttung geht unter der «Blüemlisalp» in Nagelfluh über, welche identisch ist mit der Nagelfluh im Künsbacher Tobel auf Kote 590 m.

Im Hofer Tobel (N Wetzwil) liegt die 25er-Schüttung auf 600 m Höhe. 10 m höher folgen bituminöse, limnische Mergel (Doldertobelzone). Die Blüemlisalp-Nagelfluh (s. oben) zieht auf Kote 625 m ins Tobel hinein, vergesellschaftet mit einem glimmerreichen Sandstein. 15—20 m höher ist abermals ein Knauersandstein anstehend und 20 m darüber auf Kote 670 m eine Nagelfluh-Knauersandsteinschüttung, die stratigraphisch bereits 90—95 m über dem limnischen Leitniveau liegt. Diese Schüttung ist identisch mit der Nagelfluhbank auf Kote 680 m ob Wetzwil (Wetzwiler Schüttung). Im NW dürfte ihr der Sandstein an der Strasse von Künsnacht nach Limberg (Koord. 689,00/241,07, Kote 650 m) entsprechen. Die Nagelfluhzone am Dachsbüel liegt stratigraphisch etwa 30 m höher, somit etwa 125 m über dem limnischen Leitniveau (s. S. 245).

Kehren wir nun wieder zum See zurück. Von Winkel SE Erlenbach über Mariahalde (Kote 420 m)—Grüt (Kote 430 m)—Kirche Herrliberg (Kote 440 m) lässt sich eine mächtige Knauersandsteinschüttung verfolgen. Zuerst bildet sie die Terrasse, auf welcher die Eisenbahnlinie verläuft. Etwa beim Seehof wird sie von der Eisenbahnlinie gequert und zieht dann über der Linie nach Herrli-

berg hinein. Weiter nach SE setzt sie sich direkt unter der beachtenswerten Sandsteinterrasse von Bünishofen-Teienstrasse (Kote 440 m) fort bis nach Feldmeilen. Im Gebiet von Meilen entspricht ihr der Sandstein am «Chorherren» (Pkt. 454,4)–«Schilt» ob Seehalden. Sie liegt hier stratigraphisch 30 m über dem Niveau des «Appenzeller Granites».

Der Rossbach bei Herrliberg vermittelt einen recht guten Einblick in die Detailstratigraphie. Auf Kote 420 m ist ein brauner Knollenkalk anstehend, der sowohl durch seine stratigraphische Lage wie durch seine petrographische Ausbildung sich als identisch mit dem Algenkalk bei Wolfenriet S Esslingen (Kote 530 m) herausstellt. Auf Kote 448 m zieht ein heller Knollenkalk durch, der identisch ist mit dem Knollenkalk an der Basis der Guggerzone (vgl. S. 220). Der Knauersandstein auf Kote 510–515 m ist geröllführend. Er liegt knapp über dem vulkanischen Niveau.

Im Gebiet zwischen Herrliberg und Meilen gelangen wir in eine prachtvolle Schichtterrassenlandschaft (Hasenhalde, Trüggeler-Stockenweid, Im Luft, Eichholz und andere). Erwähnenswert ist der Knollenkalk am Schützenbühl. Er ist im Meilener Tobel auf Kote 535 m aufgeschlossen. In seinem Hangenden liegen $\frac{1}{2}$ m mächtig bituminöse, schwarze Mergel (vgl. Küssnacher Tobel Kote 520 m).

Der Abschnitt Meilen-Männedorf

Das Gebiet von Meilen darf ebenfalls zu den stratigraphischen Schlüsselpositionen der Zürcher Molasse gezählt werden, denn von hier weg bewegen wir uns in stratigraphischer Hinsicht auf ganz sicherem Boden.

Anlässlich der Vergrößerung des Friedhofes und in jüngster Zeit beim Fundamentaushub an der Stelle, wo ursprünglich die Obermüli stand, waren hier mitten in Meilen die Schichten des Hauptleitniveaus der OSM (= Niveau des «Appenzeller Granites») in einzigartiger Weise aufgeschlossen. Sandstein und Mergelkalk des Niveaus treten hier in so typischer Ausbildung auf und sind an mehreren Stellen immer zugänglich, dass ich sie nach dieser Lokalität benennen möchte. Dieser einmalige, unverkennbare Horizont steigt beim «Plätzli» (Feldmeilen) aus dem See, hat beim Horn bereits die Seestrasse überquert, schneidet bei Seehalden die Bahnlinie, zieht im unteren Abschnitt des Friedhofs durch, quert bei Obermüli Kote 426 m (neuer Wert) den Dorfbach (guter Aufschluss), zieht über die neu angelegte Bruechstrasse und liegt am Ormisrain bereits auf 440 m Höhe. Im Beugentobel bildet er die Oberkante des Wasserfalls auf Kote 445 m, zieht über Appenhalten, Under Aebleten (Terrasse), Tuntelen (Kote 465 m), Grossdorf zur Linde ob Uetikon bei Pkt. 483,6. Bis hierher waren es immer nur zwei gewesen: Der Meilener Kalk und der Meilener Sandstein, die aufgetreten sind. Nun tritt hier zum erstenmal auch die dritte im Bunde dazu: Die Hüllisteiner Nagelfluh, in Form einer prachtvollen, 3 m mächtigen Stromrinne (Aufschluss hinter dem Gebäude der Wäckerling-Stiftung, wahrscheinlich alter Steinbruch). Von hier weg zieht der Horizont, allerdings schlecht aufgeschlossen, weiter, unter Boldern durch (etwa

auf Kote 525 m) und erreicht im Tobel ob Männedorf–Auf Dorf auf Kote 535 m seine Kulmination im Scheitel der Käpfnach-Grüninger-Antiklinale.

Wenden wir uns wieder Meilen zu. Es ist eine eindrucksvolle Terrassenlandschaft, noch kaum verfälscht durch von Menschen geschaffene Formen. Durch die Entdeckung des Hauptleitniveaus wird es uns erst möglich, die stratigraphische Lage der bisher untersuchten Schichten anzugeben. Meilener Tobel und Beugentobel vermitteln gute Molasseprofile. 40–45 m über dem Meilener Kalk treffen wir auf den hellen Knollenkalk der Guggerzone. Knauersandsteine, stratigraphisch 30, 60, 70, 85–90, 105 m über dem Meilener Kalk bedingen eine ausgeprägte Stufung der Bachläufe. Auf Kote 535 m finden wir den Knollenkalk von Schützenbühl anstehend. Darüber folgt eine gegen 20 m mächtige Sandsteinzone mit Geröllen und Schwemmholz auf Kote 540 m. Hierauf folgen noch einige Meter Mergel und auf Kote 560 m in reduzierter Ausbildung das limnische Leitniveau mit dem Glimmersandstein. Noch höher sind am Bach tonige Mergel anstehend, die stark an die unteren Molassepartien im Sagentobel erinnern, ebenso die Knauersandsteinschüttung 25 m über dem limnischen Leitniveau. Der Bach hat den Moränengürtel bereits zur Hälfte zerschnitten, denn bis auf Kote 620 m unterhalb Toggwil fliesst er auf Molasse. Im Beugentobel liegt das limnische Leitniveau mit Glimmersandstein stark reduziert auf Kote 580 m. Auffällig ist im untern bis mittleren Abschnitt des Beugentobels die starke Klüftung der Sandsteine und der Mergel. Die Klüftung verläuft hier parallel zum Zürichseetal. Erwähnenswert ist eine Zone roter Mergel auf Kote 510 m.

Im Gebiet von Meilen–Obermeilen sind es vor allem die Sandsteinschüttungen, die stratigraphisch 30 m und 85–95 m über dem Meilener Kalk liegen, die gut zu verfolgen sind und ausgedehnte Terrassen bilden: Schilt–Chorherren–Hürnen–Ormis–Stocklen und Im Luft–Burg–Unoth–Pkt. 539,6–Bolteracker–Brand.

Das Antiklinalgebiet von Männedorf

Von Meilen seeaufwärts macht sich der Anstieg der Molasseschichten nach S verstärkt bemerkbar. Morphologisch weitaus am schönsten ist er zu erkennen in der Nagelfluh-Schichtterrasse, die bei Obermeilen aus dem See emporsteigt und über Dollikon–Uetikon–Kirchbühl–Kleindorf–Allmend bis Auf Dorf zieht, wo sie bereits 85 m über dem See liegt. Dann biegt sie steil mit 6–10 % gegen S ab. Die Nagelfluh liegt stratigraphisch 50 m unter dem Meilener Kalk. Die Kanalisationsgräben an der Strasse von Uetikon Grossdorf zur Station mussten überall dort, wo die Strasse auf der Terrassenfläche verläuft, in die zähe Nagelfluh eingesprengt werden. Dabei zeigte es sich, dass es sich um eine Ophiolith-Nagelfluh handelt (Ophiolith-Nagelfluh von Uetikon). Zählungen ergaben bis 40 % ophiolithisches Material. Die Nagelfluh führt auch viele Radiolarite, die durch ihre dunkelrote Farbe neben den grünen Ophiolithgeröllen in den Rebärten über-

all auffallen. Ein weiterer Knauersandstein-Horizont liegt stratigraphisch 95 m unter dem Meilener Kalk. Auf ihm steht die Kirche von Männedorf. Lokal kommt es ebenfalls zur Ausbildung einer Schichtterrasse, die bis nach Langenbaum verfolgt werden kann (Aufschluss am Bach Kote 430 m). Am äusseren Dollikerbach, der von der Müli herkommt, konnte stratigraphisch 10 m unter der Ophiolith-Nagelfluh von Uetikon auf Kote 420 m (Koord. 693,09/235,55) die Fortsetzung des Kohlenlagers von Käpfnach gefunden werden. Vergleiche das Profil im Kohlenhorizont S. 169.

Das Niveau liegt auf der rechten Zürichseeseite, rund 60 m unter dem Meilener Kalk.

Bei Männedorf–Auf Dorf findet der allgemeine Anstieg der Schichten, den wir, von einigen geringfügigen Ausnahmen abgesehen, von Zürich her verfolgen konnten, ein Ende. Wie wir schon gesehen haben, erreicht der Meilener Kalk im Tobel ob Auf Dorf auf Kote 535 m seine Kulmination. Ob Allenberg Kote 530–510 m finden wir wieder eine lokale Stromrinne mit typischer Hüllisteiner Nagelfluh. Das Niveau fällt dann rasch ab, quert den Bach, der vom Allberg herunterkommt, auf Kote 500 m und zieht unter Pkt. 497,2 ins Rebgeleinde des Latterberges. Hier kann es mit Hilfe von Lesesteinen gut verfolgt werden. Unter Pkt. 454,7 liegt es nur noch knapp über der Bahnlinie (Kote 420 m) und dürfte bei Hotwiel unter das Niveau des Sees abtauchen. In einmalig schöner Weise gibt sich das SSE-Fallen der Schichten in der Nagelfluhschüttung von Oetikon/Stäfa zu erkennen. Vom Stäfner Stein herkommend taucht die mächtige Nagelfluhbank bei Oetikon aus dem See und steigt, durchbohrt vom Tunnel der Eisenbahn, zu Pkt. 454,7 hinauf. Von hier weg zieht sie in fast rechtem Winkel in nordöstlicher Richtung zu Pkt. 500,2 und bildet die scharfe Oberkante des Rebgebietes des Latterberges. Die Nagelfluhschüttung von Oetikon/Stäfa liegt stratigraphisch 30–35 m über dem Meilener Kalk. Ihr entsprechen die mächtigen Knauersandsteine, die wir im Sihltal bei Station Sihlbrugg, am linken wie auch am rechten Seeufer stratigraphisch 30–35 m über dem Meilener Kalk kennengelernt haben (Hebeisenschüttung). 10 m unter der Stäfner Schüttung liegt eine weitere Nagelfluhbank. In dasselbe Niveau dürfte auch der Sandstein der Boldernterrasse gehören.

Im Antiklinalgebiet von Auf Dorf–Männedorf liegen stratigraphisch 45 und 65 m über dem Meilener Kalk noch zwei weitere Nagelfluh-Knauersandsteinschüttungen: Die Weidenbad-Nagelfluh und der Allberg-Sandstein. Die höchsten Schichten, die die antiklinale Umbiegung noch vollständig geschlossen mitmachen, liegen etwa 80 m über dem Meilener Kalk (Aufschlüsse an der Strasse auf der Passhöhe Auf Dorf–Willikon). Der glimmerreiche Allberg-Sandstein gehört einer weit ausgedehnten, mächtigen Schüttung an: Schafrain ob Uetikon Kote 530 m, Brehen ob Boldern Kote 590 m, Allberg–Pkt. 561,3 (Nagelfluh), Kniebreche (Nagelfluh), Kirchbühl/Stäfa (Nagelfluh). Die Nagelfluhschüttung an der Basis des Stollens liegt bereits 85–90 m über dem Meilener Kalk. Sie ist identisch mit der Schüppenlochschüttung im Sihltal.

Der Abschnitt Stäfa–Feldbach

Im Steilhang ob Grundhalden–Stäfa sind mehrere Nagelfluhbänke enthalten, die mit einem Gefälle von 12 % von der Passhöhe und vom hinteren Risiboden zum Gehänge am See absinken. Gute Aufschlüsse durch die recht eintönige Serie vermitteln das Risitobel, die Teufelsobertilli und das Dorlentobel. Bei Stäfa/Kehlhof ist die breite, synklinale Umbiegung erreicht und wir gelangen in die einzigartige Terrassenlandschaft von Stäfa–Uerikon–Feldbach. Es sind durchweg Schichtterrassen, fast alles Nagelfluhterrassen. Hinter der Käpfnach–Grüninger–Antiklinale treten die Nagelfluhbänke nun viel häufiger auf. Wir nähern uns dem Zentrum des Hörnlifächers. Vermutlich war aber die Käpfnach–Grüninger–Antiklinale, vor allem aber die Wädenswiler Synklinale bereits während der Sedimentation der Molasse wirksam, so dass vorwiegend «hinter» der Antiklinale die Hauptgeröllmassen zur Ablagerung gelangten. Vom See bis zur flachen Synklinallandschaft von Hombrechtikon–Wolfhausen–Widum treffen wir folgende Nagelfluhzonen und Terrassen: Vergleiche umstehende Tabelle der Nagelfluhen und Schichtterrassen zwischen Stäfa und Feldbach.

Bei Stäfa liegen die Schichten horizontal. Die Terrassen bilden eigentliche, mächtige Treppenstufen zur flachen Synklinallandschaft von Hombrechtikon–Wolfhausen. Bei Uerikon macht sich bereits das NNW-Fallen bemerkbar. Erwähnenswert ist der Ophiolithreichtum der Nagelfluh bei Döbeli–Gsteig unter Pkt. 459,4 (Aufschluss an der alten Bahnlinie). Bei Feldbach befinden wir uns eindeutig im Südschenkel der Wädenswiler Synklinale. Der Feldbacherbach quert in seinem Unterlauf 6–8 % NNW fallende Schichten. Gegen den See hin sind immer tiefer liegende Nagelfluhschichten aufgeschlossen. E Feldbach taucht das Niveau des «Appenzeller Granites» wieder auf. Am Bächlein an der Kantonsgrenze sind die Hüllisteiner Nagelfluh, der Meilener Kalk und der Meilener Sandstein anstehend. Von hier weg zieht das Niveau des «Appenzeller Granites» über Gubel (prachtvolle Aufschlüsse während des Ausbaues der Kantonsstrasse)–Lenggis–Hüllistein (s. Abb. 6) zur Jona und kann von hier weg bis nach Abtwil b. St. Gallen verfolgt werden. Man vergleiche die Arbeiten von A. ESCHER VON DER LINTH und A. MOUSSON (1862); A. GUTZWILLER (1877); TH. ZINGG (1934); H. TANNER (1944); U. BÜCHI und G. WELTI (1950).

Von Feldbach nach E geht die Terrassenlandschaft ganz allmählich in die Schichtrippenlandschaft über. Die Streichrichtung bleibt erstaunlich konstant. Das NNW-Fallen aber wird nach S immer grösser: Am Herrenhölzli 5–6 %, am Hüllistein 10 %, bei Jona nach TH. ZINGG (1934) 25°.

Deutlich ergibt sich im Gebiet zwischen Stäfa und Feldbach eine Zunahme der Nagelfluh am Molasseprofil auf Kosten der Sandsteine und Mergelsandsteine (vgl. S. 153). Ebenso ist der Anteil der Knollenkalke in diesem Abschnitt grösser als im Gebiet von Zürich. Verschiedene Kalkhorizonte können auf grössere Distanzen verfolgt werden, so z. B. ein Knollenkalk stratigraphisch 20 m unter dem Wetterkalk von Hombrechtikon. Der Knollenkalk stratigraphisch 42 m unter dem Wetterkalk von Hombrechtikon ist identisch mit dem Langnauer Kalk.

Nagelfluhen und Schichtterrassen zwischen Stäfa und Feldbach

Schicht	Stratigraphische Lage über dem		Terrassen bei Stäfa	Terrassen bei Uerikon	Terrassen bei Feldbach
	Meilener Kalk				
Nagelfluh	30—35 m	Uetikon-Oetikon-Basis des Stäfner Steins	Schirmensee	Goldenberg	
Nagelfluh	45 m	Rain; Breitweg-Sternen- Bahnhof Uerikon	Uerikon-Risi Gamsten-Rosenberg	Liebenfels	
Nagelfluh	50 m	—	—	Rüti-Egggrüti-Rothenweg	
Nagelfluh- Knauersandstein	65 m	Wannen-Binz; Kirchbühl	Sandstein ob d. Bahnhof Terrasse Pkt. 462,7	Sandhof	
Ophiolithreiche Nagelfluhzone	80—90 m	Mies-Benderbühl-Eich- Laubisrüti-Moritzi	Töbeli-Gsteig-Hübsch- berg-Trülliberg-Morgen- sonne-Giessen	—	
Nagelfluh, ophiolithreich	105 m	Pkt. 628,6; Strick; Rütihof	Aegerten	Eichwies-Holzschlag- Terrasse ob Hinter Schlatt-Palm	
Wetterkalk von Hombrechtikon	140 m	Ausgedehnte Schichtterrassen im Gebiet von Redlikon-Egelsee (vergleiche Seite 232ff.)			

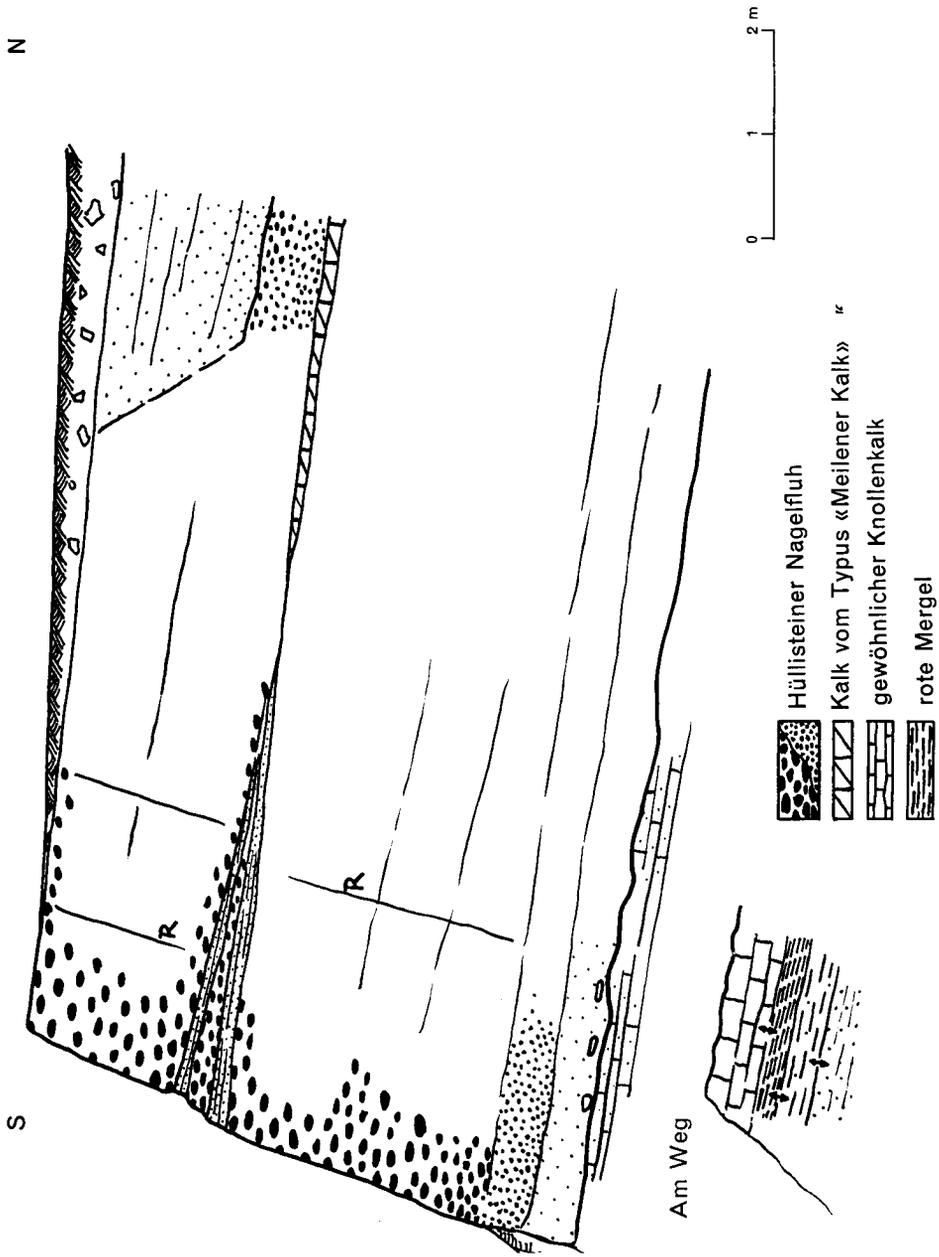


Abb. 6 Die Hüllisteiner Nagelfluh im Steinbruch am Hüllistein zwischen Feldbach und Rüti. R. Flächen mit Rutschharnischen.

6. Die Schwelle zwischen Glattal und oberem Zürichsee

Über die Treppenstufen der Terrassen mit den ihnen vorgelagerten, rebenbestandenen Steilhängen gelangen wir vom Zürichsee her, etwa von Stäfa oder Feldbach herkommend, in eine ganz anders gestaltete Landschaft: In die flache Synklinallandschaft von Redlikon-Hombrechtikon-Wolfhausen-Bubikon. Weite Schichtflächen des Wetterkalkes von Hombrechtikon und kuppenartige Nagelfluhreste sind das Kennzeichen dieser Landschaft. Einzig bei Tobel haben sich die Bäche, vergleichbar den Nerven eines Ahornblattes, in die Landschaft eingeschnitten. Erwähnenswert ist im Klauertobel die 13 m mächtige Nagelfluhschüttung, etwa 12—15 m unter dem Wetterkalk von Hombrechtikon mit Geröllen bis 18 cm Durchmesser. Diese Schüttung ist auch in der Schwarzschlucht W Rütli Kote 490 m anstehend und ebenso im Risitobel auf Kote 550 m. Über die Fossilfunde im Klauertobel vgl. S. 179.

In der Gegend von Hombrechtikon, Unter Redlikon, Frohberg, Hüttenacker zum Beispiel treffen wir in der braunen bis schwärzlichen Ackererde häufig faustgrosse, schneeweisse Stücke des Wetterkalkes. Durch die Verwitterung erscheinen sie wie gedrechselt, genau gleich wie wir sie auf Karrenfeldern treffen. Die Oberfläche solch verwitterter Kalkstücke ist rau. Dies rührt davon her, dass der weisse, leicht mergelhaltige Kalk von einem dichten Netz kleiner Kalzitdrusen durchsetzt ist, die weniger leicht verwittern als die weisse Grundmasse und daher an der verwitterten Oberfläche hervorstecken. Zerschlägt man ein solches Stück, so ist der Bruch dicht, glatt, und die Farbe des Kalkes leicht gelblich mit rötlichen Flecken. Man glaubt einen Malmkalk aus dem Jura vor sich zu haben. Der Kalk scheint ziemlich stark diagenetisch verändert worden zu sein (Netz der Kalzitdrusen). Von Fossilien findet man keine Spur.

Gräbt man tiefer, etwa $\frac{1}{2}$ m, in den Ackerboden, so stösst man auf grosse Stücke und bald auf den anstehenden Kalkfels, der bis mehr als 1 m tiefe Karrenfurchen aufweist. In den Gärten vor den Häusern und an Strassenrändern, besonders bei Hombrechtikon, trifft man häufig auf grosse Kalkstücke mit bizarren Formen, die dort zur Schau gestellt sind. Prachtvoll aufgeschlossen waren diese Karsterscheinungen des Kalkes entlang der Strasse von Hombrechtikon nach der Seeweid oder in Aushüben für Hausfundamente in Hombrechtikon (s. Abb. 7).

Gegen das Liegende wird der Kalk immer deutlicher rotgefärbt und zugleich sandiger. Schliesslich geht er in rote, sandige Kalkmergel über. Seine Mächtigkeit variiert. Sie beträgt zusammen mit den roten, sandigen Partien bei der Teufelsobertilli 3 m. An anderen Fundstellen, besonders unter Nagelfluhrinnen, ist er nur 1,5 m mächtig. Dabei ist oft schwer zu entscheiden, wieviel von seiner ursprünglichen Mächtigkeit durch die darüberlagernde Nagelfluhrinne abgetragen wurde.

Wie schon weiter oben bemerkt wurde (s. S. 165), führt der Kalk auch Gerölle und geht bei deren Häufung in Nagelfluh über. Ein solcher Übergang ist deutlich zu erkennen E des Untern Risibodens auf Kote 610 m (Koord. 697,95/234,68) oder bei Grütrain (Koord. 700,24/233,55).

Blicken wir von Hombrechtikon gegen N und NW, so fällt morphologisch alsbald das ebene Gelände auf, das sich in gleichmässigem Anstieg gegen Buhn und Vorder Wald erstreckt. Eine Begehung zeigt, dass wir uns immer auf derselben Wetterkalkschicht bewegen; denn der Kalk ist fast überall an den Wegrändern anstehend oder als häufige, weisse Brocken auf den Äckern anzutreffen. Diese Ebene ist eine Schichtfläche. Sie kommt auch deutlich auf der Karte zum Ausdruck, in den parallelen Höhenlinien, die zugleich die Streichrichtung des Kalkes angeben. Entlang dem obern scharfen Rand der Schichtstufe, die von Pkt. 553,3 gegen die Seeweid zieht, beisst die Schicht aus. Am Strasseneinschnitt SE des Hofes Seeweid, ungefähr auf Kote 560 m, ist der Kalk gut aufgeschlossen. Er zieht, immer als oberer

Rand der Schichtstufe, S des Seeweidsees durch gegen Pkt. 580,4. Unter der Nagelfluh des Obsirains geht er lokal auch in Nagelfluh über und steigt zum Hintern Risiboden zu Pkt. 626. Die ganze Fläche des Hintern Risibodens und des Risibodens — wie ja auch der Name trefflich sagt — wird ebenfalls durch den Wetterkalk gebildet. Er fällt hier SSE und überquert das Risitobel auf Kote 568 m, also über der 9 m mächtigen Nagelfluhbank. TH. ZINNG (1934) betrachtet die roten, sandigen, sehr kalkigen Mergel unterhalb der mächtigen Nagelfluhbank als Äquivalent des Wetterkalkes und schliesst daraus, dass der Kalk nach W in rote Mergel übergehe. Dies ist nicht der Fall. Vom Risitobel zieht die Schicht unter Pkt. 562,9 durch nach Abern, Frohberg, Hüttenacker, Dorlen, Grütrain, Hasenweid, immer etwa auf Kote 495—500 m. Im umschriebenen Gebiet bildet der Kalk über grosse Erstreckungen direkt den Untergrund.

Bei Hombrechtikon-Dörfli ist die Kalkschicht prächtig aufgeschlossen durch den Einschnitt der früheren Eisenbahnlinie. Gegen E bildet der Kalk die Unterlage der flachen Mulde von Tobel und Berlikon (Synklinale) und zieht über Hochwacht nach dem Herrenhölzli. Hier beobachten wir schon ein deutliches NNW-Fallen der Schicht (3,5—4°). Weiter gelangen wir über Barenberg (Pkt. 527) nach Widerzell und Zell am Egelsee. Bedeckt durch Nagelfluh, zieht unser Kalk unter dem Ritterhaus von Bubikon durch und ist N Bubikon, bei Rosengarten-Wendhäuslen wieder anstehend. Weiter N ist er durch quartäre Ablagerungen verdeckt. N Dürnten treffen wir ihn gleich S Pkt. 538,2 und bei der Säge Edikon. Von hier zieht er weiter gegen Looren (Aufschluss an der alten Bahnlinie), streicht in einem Bogen um Hinwil und lässt sich unter der Burgweid durchgehend, bis in die Tobel N Barenbühl verfolgen. Im Kemptner Tobel liegt der Kalk auf Kote 640 m. Kehren wir zurück ins Gebiet von Bubikon. W Rosengarten finden sich keine Aufschlüsse, doch ist aus der Morphologie zu schliessen, dass der Kalk über Aufgent, Wanne, Wechsel zum Krähenriedt zieht, wo er unter die Nagelfluhlagen von Wiedenswil zum Egelsee absinkt. Aufschlüsse finden wir wieder beim Homberg bis Burg entlang der Strasse. Durch Schutt verdeckt muss die Schicht S Engelberg durchziehen. Erst am Leisibühl Kote 520 m (Koord. 701,51/235,23) finden wir neuerdings Aufschlüsse. Im Tobel W Lützelsee, das sich der Abfluss des Lützelsees geschaffen hat, indem er die südliche Nagelfluhrippe durchsägte, ist der Kalk ebenfalls aufgeschlossen. Hier kann man gut die rinnenförmige Lagerung der Nagelfluh auf dem Kalk beobachten. Damit sind wir wieder in der Gegend von Hombrechtikon, von wo wir ausgegangen sind, angelangt.

Auch an der Jona NW Rüti kann ungefähr auf Kote 510 m eine 1,5 m mächtige Knollenkalkschicht beobachtet werden. Es handelt sich auch hier um unsere Wetterkalkschicht.

Ihre Ausdehnung beträgt somit allein aus den hier ausgeführten Fundstellen über 100 km². Sie lässt sich aber sicher noch weiter verfolgen. Der Wetterkalk bildet also einen weitem *Leithorizont* von beträchtlicher Ausdehnung. Er liegt ungefähr 145 m über dem «Appenzeller Granit» und ist identisch mit dem Knollenkalk im limnischen Leitniveau (s. 218, Sagentobelprofil S. 240 ff.). Aus seiner Ausdehnung ist zu schliessen, dass er am Ende einer grossen Überflutungsperiode, z. T. wohl mehrmals wieder aufgearbeitet, in untiefem Wasser zur Ablagerung gelangte. Nach seiner Sedimentation folgte eine ruhigere Zeit in der Molassesedimentation mit Vegetation; denn die Nagelfluh, die ihn überall überlagert, führt oft kohlige Pflanzenreste.

Die Stelle bei Pkt. 580,4 am Strasseneinschnitt ob Redlikon (s. oben) ist besonders bedeutsam, indem sie den willkommenen Zusammenhang zwischen dem Wetterkalk von Hombrechtikon und dem limnischen Leitniveau der Zürcher Molasse liefert. Der Wetterkalk findet sich ja in durchaus gleicher stratigraphischer Lage wie das limnische Leitniveau. Doch folgt im allgemeinen im Gebiet der Glattalschwelle erosionsdiskordant dicht über dem Wetterkalk eine

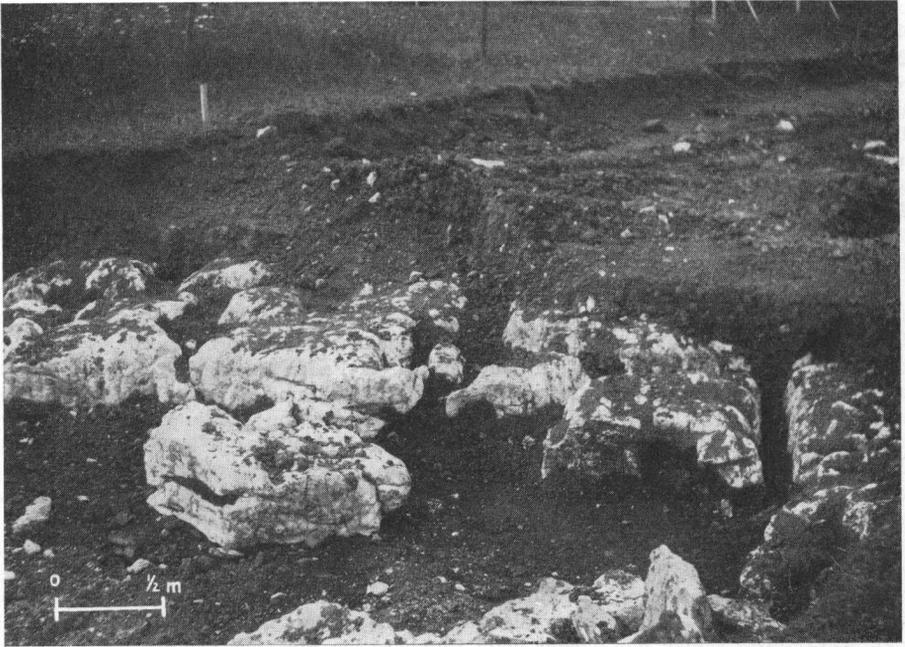


Abb. 7 Karren im «Wetterkalk von Hombrechtikon», blossgelegt anlässlich eines Fundamentaushubes in Hombrechtikon.

Nagelfluh, so dass wir nicht sehen können, was für Schichten ursprünglich über dem Wetterkalk abgelagert wurden. Bei Pkt. 580,4 sind diese überlagernden Schichten zufällig erhalten geblieben: Auf den Wetterkalk folgen zunächst 20—30 cm bituminöse, kalkige Mergel mit limnischen Fossilien (Planorben), und über diesen wiederum ein dichter beigebrauner Kalk, der völlig dem Stinkkalk im Steinmattobel Kote 665 m ob Station Sihlbrugg gleicht (s. S. 211). Er ist das Äquivalent des Stinkkalkes im limnischen Leitniveau der Zürcher Molasse. Der Wetterkalk von Hombrechtikon entspricht dem Knollenkalk im untern Teil des limnischen Leitniveaus der Zürcher Molasse.

N der Ausbisslinie des Wetterkalkes von Hombrechtikon befinden wir uns in einer ausgesprochenen Schichtrippenlandschaft im S-Schenkel der Käpfnach-Grüninger-Antiklinale. Es ist auch hier eine fast reine Molasselandschaft. Felswannseen wie der Lützelsee, der Seeweidsee, die Uetzikerseen in glazialen Erosionsmulden und Schichtrippen, die in WSW-ENE-Richtung streichen, bestimmen den Charakter dieser Landschaft. Die stratigraphische Stellung der isolierten Nagelfluhbänke in den einzelnen Rippen zu bestimmen, ist schwierig bis unmöglich. Zwei gute Messungen anlässlich der Strassenverbreiterung zwischen Uetzikon und Pkt. 558 und eine weitere im Tobelholz ergaben über-

einstimmend $5,5-6^{\circ}$ SSE-Fallen. Je weiter wir uns nach NW bewegen, desto regelloser werden die Hügelformen, es beginnt die SE-NW-Richtung eindeutig vorzuherrschen (Drumlins).

Im Gebiet von Itzikon-Grünigen-Oetwil liegen die Schichten horizontal. Die antiklinale Umbiegung ist sehr flach. Bei den mangelnden Aufschlussverhältnissen ist es daher nicht leicht, den Scheitel genau festzulegen. Dazu kommt, dass in diesem Gebiet leichte vertikale und vor allem horizontale Verstellungen auftreten. Auf der rechten Seeseite zieht der Antiklinalscheitel bei Auf Dorf-Weidenbad durch. Das Niveau des «Appenzeller Granites» liegt auf Kote 535 m. Ebenso ist im Gebiet von Grünigen die antiklinale Umbiegung relativ gut nachzuweisen. Der Scheitel verläuft über Büchlen-Itzikon und zieht etwa 150 m N von Pkt. 512,9 durch. Im Gebiet von Oetwil aber scheint der Scheitel um rund $\frac{1}{2}$ km weiter im NW der Linie Auf Dorf-Itzikon zu liegen. Die Umbiegung genau festzulegen ist aber nicht möglich. Die zähe, graue Nagelfluh im Weidholz S Oetwil, die in mehreren verlassenen Kiesgruben der Strasse Langholz-Auen gut aufgeschlossen ist, entspricht der Allbergschüttung. Sie liegt somit stratigraphisch 65 m über dem Meilener Kalk. Ob der ehemaligen Station Oetwil zieht über Langholz bis ins Oetwiler Holz eine weitere Nagelfluh-Knauersandsteinschüttung, etwa 50—55 m über dem Meilener Kalk. Die Nagelfluh S Heggen Kote 550 m dürfte 40 m, der Sandstein bei Holzhausen 30—35 m, die Knauersandstein-Nagelfluhschüttung Rinderholz-Käppli etwa 20 m über dem Meilener Kalk liegen.

Die Nagelfluh von Oetwil, aufgeschlossen im Winklentobel Kote 560 m, liegt nur 35 m über dem Meilener Kalk. In ihrer Fortsetzung nach N finden wir eine mächtige Knauersandsteinschüttung (identisch Stäfner Schüttung), die am bewaldeten Hang des Esslingerberges durchgehend verfolgt werden kann. Bei Wolfenriedt S Esslingen enthält sie prachttvolle Wellenrippeln. 10—15 m tiefer ist am Bach ein mehr als $\frac{1}{2}$ m mächtiger Algenkalk anstehend (Koord. 696,25/237,23, Kote 530 m). Die Stäfner Schüttung zieht weiter nach Ober Esslingen Kote 510 m (Schichtterrasse), unter dem Drittenberg durch (505 m), nach Ellenwies (Nagelfluh Kote 500 m), Rotblatt (Kote 490 m) und quert den Tiefenthalerbach auf Kote 490 m.

In der flachen Landschaft zwischen Esslingen, Oetwil a. S. und Grünigen finden wir das Niveau des «Appenzeller Granites» an zahlreichen Stellen anstehend, ja, es sind vorwiegend die weiten Schichtflächen auf der Hüllisteiner Nagelfluh, auf dem Meilener Kalk und Meilener Sandstein und auf der knapp über diesem Niveau gelegenen Nagelfluh, die die Flachheit der Landschaft bedingen (vgl. Kärtchen Tafel V). Diesen Schichtflächen sind die langgestreckten, elliptischen Drumlins oder restliche «Kuchen» von höheren Nagelfluhschichten aufgesetzt. Die Bäche fließen in unregelmässigem Lauf auf den Schichtflächen oder sie sind cañonartig in die Nagelfluhbänke eingetieft. So fließt z. B. der Bach bei Niederthal etwa 700 m NNE Oetwil auf Hüllisteiner Nagelfluh und schuttbedeckten Schichtflächen derselben bis Esslingen, von dort weg bis Lieburg im «Appenzeller Granit». Das Gossauer Ried ist eine

Felswanne. Seine seitliche Begrenzung durch auffallend parallele Schichtkanten ist bedingt durch die Klüftung der Molasse (s. Abschnitt Tektonik S. 271). Bei Grüningen und Hanfgarten-Ottikon haben sich die Bäche cañonartig in den Kern der Antiklinale eingeschnitten.

7. Das Gehänge gegen Greifensee und Glattal

Wir haben schon gesehen, dass im Gebiet von Egg-Hermatsberg die Schichten flach liegen, nachdem sie noch am Esslingerberg mit 5—7 % nach N eingefallen sind. Es handelt sich jedoch keineswegs um eine synklinale Umbiegung. Nach M. STEIN (1948) müsste der Betrag der synklinalen Einmuldung hier sogar 100 m betragen. Von einer solchen Einbiegung quartärer Terrassensysteme ist in den Molasseschichten überhaupt nichts zu erkennen¹³). Die Verhältnisse am Steilrand ob Mönchaltorf-Rellikon gestalten sich im Gegenteil recht einfach. Die Aufschlüsse sind gut, Moränenbedeckung fehlt fast vollständig und es kommt auch hier wieder zur Ausbildung prachtvoller Schichtterrassen. Nach der Verflachung von Egg fallen die Schichten wieder etwas stärker nach N ab. Besonders schön ist dieses Gefälle ausgedrückt in zwei mächtigen Schüttungen, die sich vom Hostigholz-Eggbühl über Uessikon nach Maur und noch weiter verfolgen lassen. Die erste dieser beiden Schüttungen liegt stratigraphisch 65 m über dem Meilener Kalk. Sie bildet die Schichtfläche von Hostig auf Kote 510 m. Als markante Nagelfluhbank zieht sie über Ankental (Nagelfluh Kote 500 m)–Streuriedholz–Letziholz (Kote 485 m)–Rüti, quert die beiden Tobel bei Uessikon auf Kote 470 m, zieht unter Steindrüsen durch zum Gehöft Fluh am Greifensee W Maur (Pkt. 452). 20—25 m stratigraphisch höher gelegen, lässt sich vom Heidenholz bei Eggbühl Kote 525 m über das Zieglerholz (Nagelfluh Kote 500 m)–Kramer Kote 495 m–Geiger Kote 490 m–Kreuzbühl (Knauersandstein Kote 475 m)–Maur Kote 475 m eine weitere mächtige Schüttung verfolgen. Sie ist identisch mit der Schüppenlochschüttung.

Von besonderem Interesse und wesentlich für die stratigraphischen Zusam-

¹³) Man ersieht allein aus dieser Tatsache, wie problematisch und schwierig es ist, im Mittelland Gehängeverflachungen und vereinzelte Schottervorkommen zu Terrassen- bzw. Talbodensystemen zusammenzufassen. M. STEIN (1948) hat für das Glattal fünf Terrassensysteme gefunden, die bis ins jüngste Quartär hinein tektonisch verbogen worden seien. In der Molasse aber existieren diese Verbiegungen, welche Werte von 80—100 m erreichen sollen, nicht. Damit sind jedoch überhaupt sämtliche Systeme M. STEIN's in Frage gestellt. Verschiedentlich habe ich mir im Terrain die Systeme M. STEIN's zu vergegenwärtigen versucht und stets habe ich mich fragen müssen, aus welchem Grunde wohl die Gehängeverflachungen eines bestimmten Gebietes überhaupt, und wenn schon, warum gerade in dieser Weise zu einem System zusammengefasst wurden. Neuerdings hat H. RINGGER — wie er anlässlich eines Kolloquiums am Geographischen Institut der Universität Zürich im Dezember 1954 ausführte, in welchem er über die Resultate seiner morphologischen Untersuchungen im Zürichsee-Limmattal berichtete — auch im Zürichsee-Limmattal eine ganze Anzahl Terrassensysteme mit jungquartärer Absenkung im Bereiche der alpinen Randflexur ALBERT HEIM's (1884, 1919), gefunden. Wie wir schon anlässlich jenes Kolloquiums ausführten, können wir dieser Auffassung nicht beipflichten.

menhänge zwischen Glattal und Sihltal sind die Aufschlüsse im Uessikerholz am Bach, der von Vorder Wannwies herunterfließt:

		Strat. Lage über dem	
Uessikerholz		Meilener Kalk	Sihltal bei Station Sihlbrugg
Mächtiger Knauersandstein	Kote 565 m	165—170 m	25er-Schüttung
Limnische, bituminöse Mergel	Kote 540 m	140—145 m	Limnisches Leitniveau
Ophiolith-Sandstein	Kote 533 m	135 m	Ophiolith-Nagelfluh vom Sihlzopf
Mächtiger Knauersandstein, ophiolithreich	Kote 525 m	125 m	Sandstein am Sihlzopf
Knollenkalk	Kote 505 m	100 m	Langnauer Kalk
Rotzone (= Rotzone der Wulp)	Kote 504 m		
Nagelfluh-Knauersandstein	Kote 495 m	85—90 m	Schüppenlochschüttung

Die Nagelfluh bei Wannwies Kote 590 m liegt, sofern hier keine Störung durchzieht, 50—55 m über dem limnischen Leitniveau. Sie dürfte somit der Nagelfluh im Ebnet ob Erlenbach (=Hermen-Nagelfluh s. S. 198) entsprechen. Von Wichtigkeit ist, dass wir im Uessikerholz das limnische Leitniveau und die Schichten im Liegenden und Hangenden eindeutig erkannt haben. Das limnische Leitniveau und die Ophiolithschüttung vom Sihlzopf, 8 m tiefer, lassen sich nach N und NW am Gehänge gegen den Greifensee und das Glattal in allen Tobeln durchgehend verfolgen.

Im Uessikerholz	Kote 540 m	Koord. 693,58/241,77 (reduziert)
Im Benkeltobel	Kote 515 m	Koord. 691,78/245,03 (reduziert)
Im Mühleobel	Kote 505 m	Koord. 691,10/246,23 (leicht reduziert)
Im Fälländer Tobel	Kote 492 m	Koord. 690,18/247,08
Im Brandholz	Kote 488 m	Koord. 690,06/247,56
Im Schlostobel	Kote 475 m	Koord. 688,86/248,42
Im Ursprungtobel	Kote 475 m	Koord. 687,97/249,06
Im Sagentobel	Kote 480 m	Koord. 686,72/249,69
Ziegelei Schwamendingen	Kote 484 m	Koord. 685,60/250,38
Im Unterholz	Kote 490 m	Koord. 684,75/250,75
S Oerlikon	Kote 490 m	Koord. 684,45/250,69

Im Fälländer Tobel kam bei Grabungen unter dem Knauersandstein bei der Mühle Fällanden eine auffällige Rotzone zum Vorschein. Sie liegt stratigraphisch 30 m unter dem limnischen Leitniveau und dürfte der Rotzone der Wulp entsprechen.

Wichtige Einblicke in die Molasse vermitteln das Mettentobel und das Sagentobel. Am Mettentobel folgen zunächst zwei Knauersandsteine. Der erste 15 m über dem limnischen Leitniveau auf Kote 490 m, dann auf Kote 500 m eine weitere Bank mit roten Mergeln im Liegenden. Es ist die Schüttung, die 25 m über dem limnischen Leitniveau liegt. Sie zieht unter der Ruine Dübelsstein durch (Dübelssteinschüttung). Auf Kote 515 m ist eine limnische Zone mit Stink-

kalk anstehend. Sie liegt stratigraphisch 40 m über dem limnischen Leitniveau (Doldertobelzone, vgl. Sagentobelprofil Kote 520 m). Von Kote 530 bis 550 m folgen vorwiegend Knauersandsteine, dann eine Mergelzone. Den oberen Abschluss des Mettentobels bildet eine mächtige Knauersandsteinplatte auf Kote 570—580 m. Es handelt sich um einen ophiolithreichen Knauersandstein. Er liegt über einer glimmerreichen Zone mit weisslichen, kalkigen Mergeln. Die Dübelsteinschüttung zieht auf 500 m Höhe durch bis zum Sagentobel. 30—40 m darüber finden wir im Ursprungtobel zwei Knauersandsteine, der obere ist stellenweise als feinkörnige Nagelfluh ausgebildet (= Knauersandstein und Nagelfluh im Ifang ob Erlenbach).

Das schönste Profil aber liefert uns das wilde Sagentobel. (Siehe Profil auf S. 240 ff.)

8. Die Molasse am Pfannenstiel-Zürichberg

Der Abschnitt Stollen-Kreuzlerboden-Knolli-Buchholz

Am Stollen liegen mehrere Nagelfluhbänke übereinander. Die wichtigste dieser Schüttungen befindet sich an der Basis des Stollen 85—90 m über dem Meilener Kalk. Ich möchte sie daher als Stollen-Basischüttung bezeichnen. Von Meilen her haben wir diese markante Schüttung bereits bis Brand ob Uetikon verfolgt. Sie quert das Tobel auf Kote 575—580 m, bildet die Terrasse vom Schützenhaus, quert den Bach beim Stierenloch auf 590 m Höhe und zieht von hier unter Pkt. 599,1 zur Passhöhe (Pkt. 622,4). In den Kiesgruben N Pkt. 622,4 beobachtet man eine starke NNW-SSE-Klüftung. Es handelt sich um eine ophiolithreiche Nagelfluh. Von der Passhöhe zieht die Stollen-Basisnagelfluh mit nördlichem Gefälle über Unter Kreuzlen zum Tobel W Sonnenberg. Das starke Gefälle der Molasseschichten im Gebiet von Vollikon ist deutlich ausgeprägt in den Nagelfluh-Schichtterrassen und in gleicher Weise in der prachtvollen Knauersandsteinterrasse von Ausser, Vorder, Mittler Emmat (s. Abb. 8). Zwischen der Molasse des Esslingerberges und dem Plateau Langwies-Drittenberg-Hermatsberg besteht somit eine eindeutige Verbindung. Anders, wenn wir die Verhältnisse W von Vollikon in Betracht ziehen. Während die Schichten bei Vollikon-Emmat mit 4—5 % nach N fallen, beobachten wir am Berg ob Ausser Vollikon-Mittelsberg ein Gefälle von nur 2 %. Bei Vollikon muss eine Störung durchziehen. Bei Mittelsberg (Koord. 694,80/238,25, Kote 605 m) ist eine Ophiolith-Nagelfluh anstehend mit häufigen Radiolariten (vgl. S. 161). Sie ist identisch mit der Ophiolith-Nagelfluh vom Sihlzopf. Die hellen, weisslichen, kalkigen Mergel mit Heliziden im Tobel bei Vorder Radrain auf Kote 640 m dürften dem limnischen Leitniveau entsprechen, das hier stark reduziert ist (Typus Beugentobel-Meilener Tobel). 30 m über der Ophiolith-Nagelfluh liegt bei Mittelsberg eine mächtige Knauersandsteinschüttung, die nach S bis Hausacker W Sonnenberg (Kote 650 m) verfolgt werden kann. Es



Abb. 8 Schichtfläche bei Vorder und Mittler Emmat W Esslingen. Der Sandstein, welcher die Unterlage dieser Schichtfläche bildet, liegt stratigraphisch 55 m über dem Niveau des «Appenzeller Granites».

ist die 25er-Schüttung (= Dübelsteinschüttung). W Sonnenberg liegt darunter ein weiterer Sandstein (Kote 535—540 m) und unter diesem auf 530 m Höhe ein Glimmersandstein. Der Glimmersandstein-Horizont findet sich im Töbelchen unter der Strasse SW Sonnenberg wieder und ebenso auf dem Kreuzlerboden auf 642—645 m Höhe. Es ist der Glimmersandstein des limnischen Leitniveaus.

Am Bach im Stierenloch ist auf Kote 620 m ein Knollenkalk anstehend, der einen stark an den Knollenkalk im Hangenden der Ophiolith-Nagelfluh vom Sihlzipf erinnert. Von Kreuzlerboden bis Gibisnüt bewegen wir uns auf Nagelfluh und Knauersandstein. Dann folgt eine Zone mit Moränenbedeckung. Bei Knolli sind zwei Nagelfluhbänke schlecht aufgeschlossen: Auf Kote 685 m und auf Kote 705 m. Die obere dürfte die Fortsetzung der Wetzwiler-Nagelfluh sein.

Der Pfannenstiel

Der Pfannenstiel ist zur Hauptsache eine Nagelfluhmasse. Diese Tatsache erstaunt um so mehr, als wir im Gebiet von Meilen unterhalb des Moränen-gürtels nirgends Nagelfluh finden. Es gelingt nicht ohne weiteres, eine gewisse Ordnung in die verwirrende Fülle von Nagelfluhaufschlüssen zu bringen.

Stratigraphisches Profil der OSM im Sagentobel bei Zürich

Die mächtige Knauersandsteinschüttung am Buschberg, aufgeschlossen z. B. am Adlisbergbach Kote 620 m, liegt stratigraphisch etwa 30 m über dem Glimmersandstein, mit welchem unser Sagentobelprofil beginnt.

<p>Kote:</p> <p>585 m ————— (Rechtsseitiges Nebentobel, das bei Kote 535 m ins Sagentobel mündet)</p> <p>S 3,7 m</p> <p>570 m ————— (Rechtsseitiges Nebentobel, das auf Kote 535 m ins Sagentobel mündet)</p> <p>560 m ————— (Rechtsseitiges Nebentobel, das auf Kote 535 m ins Sagentobel mündet)</p>	<p>...100 cm grauer, braungelb gefleckter, massiger Glimmersandstein (vgl. Glimmersandsteine an der Manegg)</p> <p>40 cm grüne, braungelb gefleckte, geschichtete, feinsandige Mergel</p> <p>25 cm feinstgeschichtete rote und gelbe Mergel</p> <p>20 cm grüner, feinstgeschichteter Glimmersandstein</p> <p>5 cm feinstgeschichtete rote und gelbe Mergel</p> <p>15 cm rote, dichte Mergel</p> <p>10 cm dunkelgrüne, braungelb gefleckte, tonige Mergel</p> <p>40 cm kräftig gelbe, leicht rosa gefleckte, tonige Mergel</p> <p>130 cm graugrüne, feinstgeschichtete, sandige Glimmermergel</p> <p>...100 cm bunte, gelbe Mergel</p> <p>...100 cm weissgelbe Mergel</p> <p>150 cm grauer, gelbgefleckter Mergelsandstein</p> <p>30 cm rosarote bis bunte Mergel</p> <p>100 cm graue, kräftig gelbgefleckte Mergel</p> <p>110 cm rosa bis bunte Mergel, unten rot</p> <p>50 cm graue, kräftig gelbgefleckte Mergel</p> <p>90 cm Wechsel grauer Sandsteinlagen mit rosaroten Mergeln</p> <p>60 cm bunte, dichte, kräftig gelbe Mergel</p> <p>15 cm hellgrüne Mergel</p> <p>30 cm braungrüne, bituminöse Mergel</p> <p>etwa 150 cm hellgrauer, eigelb gefleckter Mergelsandstein</p> <p>120 cm eigelbe, seifige, z. T. sehr feinsandige Mergel, oben bituminös</p> <p>100 cm gelbgrüne Mergel</p> <p>50 cm eigelbe Mergel</p> <p>30 cm bituminöse, braune Mergel</p> <p>100 cm gelber bis grünlichgrauer, sehr feinsandiger Mergelsandstein</p> <p>oben sandig</p> <p>250 cm kräftig gelbe Mergel</p> <p>10 cm leicht bituminöse Mergel</p> <p>80 cm gelbe Mergel</p> <p>25 cm leicht bituminöse, braune, oben grüne Mergel</p> <p>40 cm eigelbe, leicht bunte Mergel</p> <p>30 cm leicht bituminöse, grünlichbraune Mergel</p> <p>120 cm weisse, unten leicht bunte Mergel mit Kalkknollen (vgl. Falätscheprofil Kote 610 m)</p>
---	---

Kote:

560 m ————— (Rechtsseitiges Nebentobel, das auf Kote 535 m ins Sagentobel mündet)	...100 cm hellgraue, gelbgefleckte Mergel
S etwa 9 m	vorwiegend hellgraue bis gelbliche Mergel
550 m ————— Wasserfall	Hier zieht eine Störung durch (Zürichbergstörung). Man vgl. die Verbiegung des Sandsteins oberhalb und direkt beim Wasserfall. 550 cm grauer Knauersandstein
540 m —————	150 cm weissgraue Mergel 350 cm grauer Knauersandstein (Im Bereich des Wasserfalls entsprechen ihm gewöhnliche gelbgefleckte, sandige Mergel) 30 cm hellgraue Mergel 40 cm grober, hellgrauer, granitischer Sandstein 60 cm weissgraue Mergel 10 cm bituminöse, violettliche Mergel 25 cm hellgraue bis grüne Mergel 30 cm durch und durch rote Mergel mit weissen Rissen 100 cm weisslichrote, knollenkalkige Mergel, oben ganz rot, mit harten Knollen 150 cm bunte, rote Mergel 50 cm weicher Sandstein 140 cm graue, gelbgefleckte, sandige Mergel, z. T. kalkig 25 cm rötliche, leicht kohlige Mergel, oben bunt

Kote:	400 cm graue, gelbgefleckte Mergel
	15 cm leicht bituminöse, hellgrüne Mergel
	130 cm gelbe Mergel
	10 cm bituminöse, kohlige Mergel
	200 cm gelbe, unten bunte Mergel
	10 cm hellgrüne, feinsandige Lage
530 m ——— (Im Tobel)	80 cm bunte, rote Mergel
	110 cm gelbbraune, sandige, splinterige Mergel zuoberst 50 cm kalkig hart, fein obere Hälfte mergelig
	360 cm graugelber Knauersandstein Die Schichten fallen mit etwa 2° nach NNW
	20 cm rötliche Mergel
	90 cm hellgrüne bis graugelbe Mergel
	50 cm grüne, unten gelbgrüne Mergel
	300 cm graugelbe, hellrosa gefleckte Mergel
	50 cm grauer, gelbgefleckter, mergeliger Sandstein
	170 cm bunte, hellrosarote, braungelb gefleckte Mergel
525 m ——— (Am rechten Tobel- hang)	100 cm Sandstein
	100 cm kräftig gelbe, bunte Mergel
	380 cm grauer, stellenweise gelblicher Knauersandstein (vgl. Knauersandstein Rüttschlibach Kote 560 m)
	20 cm dunkelgrüne, oben bituminöse Mergel
	20 cm sandige, hellgraue Mergel
	30 cm hellgrüne, kräftig gelbe, dichte, tonige Mergel
	3 cm dunkelgrüne Mergel
	10 cm bituminöse, kohlige Mergel
	90 cm hellgraue, kräftig gelbgefleckte, leicht sandige Mergel
520 m ———	20 cm grüner Ton
	30 cm graue, leicht bituminöse Mergel mit grünen Rissen + Zähnechen *** Planorbien
	30 cm bituminöse, dunkelviolettliche Mergel mit weissen Rissen * limnisch
	70 cm weissgrauer, knolliger Mergelkalk (Doldertobelzone)
	30 cm hellgrüne Mergel oben hellgrau-weiss, knolligkalkig
	250 cm graue, gelbgefleckte, gutgeschichtete, sehr sandige Mergel mit grauen und gelben Lagen und 5—10 cm mächtigen Kalksandsteinbänkchen
515 m ——— (Im Tobel)	50 cm graue Mergelsandsteinbank
	3 cm gelbe Mergel
	100 cm hellgraue, gelbgefleckte, sehr sandige, gutgeschichtete Mergel bis Mergelsandsteine
	10—15 cm grauer, feiner, dichter Sandstein
	130 cm kräftig gelbe bis grüngraue, dichte Mergel
	10 cm bituminöse, rote Mergel
	50 cm hellgraue, gelbgefleckte Mergel mit Rissen
	50—80 cm sehr mergeliger, gut gebankter Sandstein
	10 cm helle, dichte Mergel
	5 cm bituminöse Mergel
510 m ———	25 cm Knochen- und Schneckenschalenbrekzie *** Chara
	5 cm bituminös
	25 cm Knochen- und Schneckenschalenbrekzie *** Chara
	20 cm grünbraune Mergel
	40 cm bituminöse, dichte Mergel * <i>Melania Escheri</i> , Koprolithe
	50 cm weissgrüne Mergel
	50 cm hellgrüne Mergel
	100 cm grüne Glimmermergel, an der Basis kalkige Konkretionen
	100 cm grüne Glimmermergel **Lymnaeaen

Kote:

- 50—100 cm bituminöse, grüne Glimmermergel * Knochenreste
Schildkröte H
20 cm graue, feinstgeschichtete Glimmermergel
** Monokotyledonen, Dikotyledonen + Bythiniendeckel
50 cm graue, z. T. kohlige Glimmermergel
100 cm grauer, sehr muskowitzreicher, weicher Sandstein

Klüftung N 62° E

- 550 cm grauer, relativ grober Knauersandstein mit prachtvollen
Knauern und Mergelgeröllagen (vgl. Knauersandstein
Rütschlibach Kote 540 m)

500 m ———

- 200 cm hellgraue, gelbgefleckte, sandige, splitterige Mergel, unten
leicht grünlich
50 cm bunte, rötliche, unten gelbliche Mergel
50 cm braune, sehr sandige Mergel bis Mergelsandsteine

Klüftung N 67° E

- 180 cm grauer Knauersandstein mit grossen braunen Flecken
unten bräunlich

- 60 cm bunte, rote, dichte Mergel
15 cm bituminöse, sandige Mergel * H (selten)

- 220 cm Die Schichten fallen $\frac{1}{4}$ —2° bachaufwärts (gegen NW)
graugelber Mergelsandstein bis sehr sandige Mergel

- 60 cm bunte, rote und kräftig gelbe Mergel
10 cm grüne Mergel
0—5 cm bituminöse, z. T. kohlige Mergel
50 cm grüngelbe, dichte, tonige Mergel

490 m ———

S $\frac{1}{2}$ m

- 20 cm dunkle, bituminöse Mergel
...15 cm gelbe Mergel
30 cm graue, gelbgefleckte Mergel
60 cm weissliche, z. T. gelbliche, leicht sandige Mergel * H
140 cm grüngrauer bis gelber, feiner Mergelsandstein
+ grüngraue, kräftig gelbgefleckte, sandige Mergel

- 30 cm graue, braungelb gefleckte Mergel

- 120 cm bunte, unten weissliche Mergel

Klüftung N 73° E

- 35 cm grüngraue Glimmersandsteinbank mit Rippelmarken
30 cm grüne, glimmerreiche Mergel
...60 cm grüngraue, z. T. rote, feinstgeschichtete, gelbgefleckte Mergel

S 1,5 m

- grüngelbe Mergel + grauer Sandstein
30 cm grauer Mergelsandstein, gebankt
30 cm grüngraue, feinsandige, geschichtete Mergel
100 cm gelbgrüner, z. T. bunter, dichter Ton
5 cm bituminöse Mergel mit Pflanzenresten
15 cm grüne, z. T. bunte, feinstgeschichtete Tone
30 cm dunkle, bituminöse, limnische Mergel ***

Kote:

480 m	25—30 cm Stinkkalk ** 5 cm hellgraue Mergel 100 cm hellgrauer, leicht gelblicher Knollenkalk (= «Wetterkalk» von Hombrechtikon) 130 cm weissgraue, kalkige Mergel 50 cm graue, gelbgefleckte Mergel 100 cm weinrote, sehr feinsandige, feinschiefrige Mergel 40 cm graue, rot- und gelbgefleckte, sandige Mergel ...150 cm bunte, rot und braungelb gefleckte Mergel
	S 5 m
470 m	Brücke ...100 cm grauer, braungelb gefleckter Mergelsandstein <div style="text-align: right; padding-right: 20px;">Klüftung N 62° E</div> ...100 cm graue, braungelb gefleckte, oben bunte Mergel

An der Basis des Pfannenstiels liegt ein 20—25 m mächtiger Komplex von drei unter sich parallelen Nagelfluhschüttungen, die stellenweise miteinander verschmelzen: Die Pfannenstiel-Basischüttung. Die unterste dieser Schüttungen liegt bei Scheuren auf Kote 710 m, bei Vorder Pfannenstiel (Pkt. 730,9) als ophiolithreiche Nagelfluh auf Kote 740 m. Diese Ophiolith-Nagelfluh entspricht der Ophiolith-Nagelfluhzone vom Albispass (s. S. 199). Auf eine Strecke von mehr als 4 km ergibt sich somit ein Anstieg von nur 30 m. Der Hauptanteil dieses Anstieges erfolgt im nördlichen Abschnitt des Pfannenstiels. Vom Eggerberg weg bis Vorder Pfannenstiel liegen die Schichtausbisse horizontal. In W-E-Richtung zeigen die Schichten der Basiszone im Abschnitt Vorder Pfannenstiel-Haldenacker ebenfalls horizontale Lagerung. In den Tobeln am Killenspitz-Rinderweid (ob Toggwil) erkennt man ein deutliches Gefälle gegen den Zürichsee hin. Oberhalb Wetzwil liegt ihre Basis knapp über 700 m und steigt gegen Hochrüti wieder auf 710 m an. In der Pfannenstiel-Basiszone finden wir die grössten Mächtigkeiten der Bänke und auch die grössten Gerölle unseres Untersuchungsgebietes: Im Raggentobel eine 21 m mächtige Nagelfluhbank. Grösste Gerölle am Schufelberg mit 24 cm grösstem Durchmesser (Nagelfluhbank Kote 755 m), ferner Gerölle mit bis 18 cm Durchmesser im Tobel ob Wetzwil Kote 715 m. Im Wangertobel NW Hinter Guldenen

Kote 735 m grösste Gerölle mit 20 cm Durchmesser. Die Basiszone beginnt 25—30 m über der Wetzwiler-Nagelfluh oder 15 bis 20 m über dem Knollenkalk vom Schufelberg.

Im Gegensatz zu den Pfannenstiel-Basisnagelfluhen zeigen die oberen Nagelfluhbänke am Pfannenstiel ein stärkeres Gefälle nach NNW-NW. Sehr deutlich ist dieses Gefälle zu erkennen im Verlauf der Bänke, die die Platte von Pkt. 853 bis zum Herrliberger Hau bilden. Ebenso besitzt die Nagelfluh Spitzacker-Kohlgrub ein Gefälle von etwa 4%. Es zeigt sich innerhalb des Pfannenstiels eine Schichtdiskordanz, entstanden durch synsedimentäre Absenkung (s. S. 262ff.). Im S des Pfannenstiels sind mehrere Nagelfluhbänke eingeschaltet, die am Gubel N Hinter Guldenen überhaupt nie vorhanden waren oder durch primäre Erosion abgetragen worden sind. Die Nagelfluh am Dachsb erg (s. S. 225) ist ein Ausläufer der Pfannenstiel-Basiszone.

Der Abschnitt Wassberg-Sennholz-Oetlisberg (Oeschbrig)

Auch der Wassberg ist zum grossen Teil aus Nagelfluhbänken aufgebaut. Die tiefsten Nagelfluhaufschlüsse finden wir N Kaltenstein unter der Forchstrasse zwischen Neue Forch und Forch. Auf Kote 675 m ist hier eine Nagelfluh aufgeschlossen, die der untersten Schüttung der Pfannenstiel-Basiszone entspricht (s. S. 244). Sie ist deutlich zweigeteilt: Unten Kalk-Dolomit-Nagelfluh mit dunklen, auffällig stark polierten Kalkgeröllen, oben Ophiolith-Nagelfluh. Diese Verhältnisse erinnern stark an die Nagelfluhschüttung im Wangertobel (SW Forch) Kote 710 m. Wir finden dieselbe Ophiolithschüttung (= Ophiolith-Nagelfluhzone vom Albispass, s. S. 256) auch am Steilhang NNW Aesch auf Kote 665 m wieder. Von hier zieht die Nagelfluh weiter, zunächst schlecht aufgeschlossen, nach Pkt. 647,9 und nach Lebern S Ebmatingen Kote 635 m, quert die Strasse Binz-Ebmatingen auf Kote 625 m und ist im Bach S Binz auf Kote 623 m aufgeschlossen. Ihre weitere Fortsetzung finden wir im Knauersandstein W Schüracker (Pkt. 609,4). Im Gebiet von Zumikon-Waltikon liegt die Molasse unter mächtiger Moränenbedeckung.

An der Forchstrasse ist bei Pkt. 683 W Forch ein Glimmersandstein aufgeschlossen. Er ist wahrscheinlich identisch mit dem Glimmersandstein im Tobel SE Bunzenhalden W Hinter Guldenen Kote 715 m. 20—25 m über der Ophiolithschüttung liegt eine weitere Nagelfluhbank, die hinter dem Gehöft Neue Forch ansteht. Sie bildet die harte Stufe ob den Häusern von Forch und ebenso die Schichtterrasse, auf der das Restaurant Wassberg steht, und kann am E-Hang des Wassberges bis in die Basis des Bodenholzes verfolgt werden. Der Wassberg selbst ist im wesentlichen nichts anderes als eine nach NW absinkende Nagelfluhplatte, bestehend aus zwei Nagelfluhschüttungen, die stratigraphisch 10 m auseinander liegen: der oberen und der unteren Wassberg-Nagelfluh. Die obere Schüttung bildet die Unterlage von Pkt. 735,0 des Rütiholzes und der Wassbergwiese. Die nördlichsten Aufschlüsse finden wir in der Kiesgrube im Wassbergholz auf knapp 710 m (Koord. 690,67/243,70). Stratigraphisch

gute 10 m tiefer stehen wir im östlichen Wassbergholz auf der ausgezeichnet ebenen Schichtfläche der unteren Wassberg-Nagelfluh. Diese zieht von Pkt. 711,1 ob der Neuen Forch unter dem Forchdenkmal durch und ist als oberer scharfer Rand am E-Hang des Wassbergs durchgehend zu verfolgen. Sie setzt sich in der mächtigen Nagelfluh des Bergholzes S Ebmatingen fort. Zwischen Sennholz und Wassberg aber hat die Erosion die Platte der unteren Wassberg-Nagelfluh bereits zerschnitten. Am Wassberg liegen die nördlichsten Aufschlüsse der unteren Wassberg-Nagelfluh S Winterried und am Quellbach des Wehrenbaches auf Kote 690 m.

Am Sennholz und am Oetlisberg zieht die untere Wassberg-Nagelfluh mit beträchtlichem Gefälle vom Bergholz (Pkt. 675,5) über Graben (Pkt. 665) ob Ebmatingen, bildet die Unterlage des Breitmooses, quert die Strasse ob Binz auf Kote 650 m und lässt sich über Pkt. 642,7 bis unter Müsern verfolgen (etwa Kote 635 m). Stratigraphisch 15 m darüber ist bei Eggelen am Oetlisberg ein prachtvoller Knauersandstein anstehend, dessen südliche Fortsetzung auch am Sennholz, am Waldrand S Pkt. 665,9, auf Kote 675 m, wieder gefunden werden kann (= Sandstein Rütiholz am südlichen Wassberg Kote 730 m).

Mit Ausnahme des E-Hanges sind die Molasseaufschlüsse denkbar spärlich. In der Kiesgrube bei Pkt. 651 S Oetlisberg ist die untere Wassberg-Nagelfluh aufgeschlossen. Bei Pkt. 659,8 N Waltikon ist auf Kote 655 m in einer verwachsenen Kiesgrube Knauersandstein und Nagelfluh mit einem mergeligen Knollenkalk im Hangenden anstehend. Stratigraphisch liegt diese Nagelfluh unter der Wassbergschüttung.

Unter Berücksichtigung der Gefällsverhältnisse und der Schichtdiskordanzen im Pfannenstiel-Wassberggebiet kommen wir zur Überzeugung, dass die höchsten Nagelfluhen am Pfannenstiel der Wassberg-Nagelfluh entsprechen.

Der Abschnitt Adlisberg-Zürichberg

Leider sind die Aufschlüsse im Bannholz ungenügend, so dass die untere Wassberg-Nagelfluh nicht mehr weiter verfolgt werden kann. Die Wassbergzone zieht unter dem Adlisberg durch. Der grobkörnige Knauersandstein am Buschberg, aufgeschlossen am Adlisbergbach und am Bach W Tobelhof auf Kote 620 m, bildet die Fortsetzung der Wassbergzone. Er liegt stratigraphisch 60 m über der weissen Kalkzone im Sagentobel. Stratigraphisch 10—30 m unter dem Buschberg-Sandstein liegt eine Glimmersandstein- und Glimmermergelzone (= Glimmerzone der Manegg). Am Loorenkopf finden wir die stratigraphisch höchsten Molasseschichten der rechten Zürichseeseite. Zuerst ist eine Kalk-Dolomit-Nagelfluh mit einem Knollenkalk im Hangenden bis heute vor dem Abtrag erhalten geblieben. Sie liegt hier stratigraphisch 220—230 m über dem limnischen Leitniveau, somit 360—375 m über dem Meilener Kalk und entspricht am Albis der Burgweidschüttung zwischen Baldern und Felsenegg. Etwa 15 m unter der Loorenkopf-Nagelfluh ist ein 4 m mächtiger Knauersandstein anstehend. Die tiefer liegenden Molasseschichten sind schlecht aufge-

geschlossen. Die Loorenkopf-Nagelfluh liegt 50—60 m über der Wassbergzone.

Auf der Höhe des Zürichberges sind gute Molasseaufschlüsse selten. Das Petertobel ob dem Resiweiher liefert uns ein sehr willkommenes Molasseprofil:

Grober Knauersandstein auf Kote 640 m (= Buschberg-Sandstein)

Glimmersandstein und Glimmermergelzone Kote 610—630 m

Weisser Knollenkalk mit $\frac{1}{2}$ m bituminöser Mergel im Hangenden Kote 605 m

Knauersandstein Kote 590—595 m

Mehr als $\frac{1}{2}$ m mächtige Rotzone am Resiweiher Kote 570 m

Über der Allmend Fluntern am Hang zwischen Susenbergstrasse und Zoologischer Garten ist auf Kote 620 m ein Knauersandstein anstehend, der wahrscheinlich dem Buschberg-Sandstein entspricht. Die höchsten Schichten liegen ob der Batteriestrasse bei der Hochwacht 25—35 m über der Wassbergzone. Am Brandbach zwischen Frauenbrünneli und Ziegelei Schwamendingen liegt die weisse Kalkzone mit $\frac{1}{2}$ m bituminöser Mergel im Hangenden auf Kote 570 m (= Sagentobel Kote 565 m = Resiweiher-tobel Kote 605 m). 15 m darüber folgt ein Knauersandstein mit hellen Mergeln im Liegenden. 5 m unter der weissen Kalkzone ist auf Kote 565 m ein Knauersandstein aufgeschlossen, der dem Knauersandstein im Sagentobel Kote 550 m und dem Sandstein im Resiweiher-tobel Kote 590—595 m entsprechen dürfte. Die Schichten sind somit «im Brand» und im «Sack» gegenüber dem eigentlichen Zürichberg abgesenkt. Im «Sack» muss eine Störung durchziehen (vgl. Abschnitt Tektonik S. 281).

9. Die Molasse Asp-Käshalden-Seebach

Anlässlich von Kanalisationsbauten an der Strasse von Seebach nach Rüm-lang kamen bei Seebach-Ausserdorf unter einer dünnen Moränendecke ein beigefarbener, dichter Mergelkalk und ein hellgrauer, feiner Sandstein zum Vorschein. Es handelt sich dabei wahrscheinlich um den Kalk von Seebach, den schon A. ESCHER VON DER LINTH (1844) erwähnt, ohne aber das Vorkommen irgendwie näher zu bezeichnen. Die einmalige Beschaffenheit des Kalkes verrät uns, dass wir hier den Meilener Kalk vor uns haben (Niveau des «Appenzeller Granites»).

Der Hügel von Binz-Asp-Käshalden besteht ganz aus Molasse, die mit 4 % nach SSE einfällt. Von Kote 437 m etwa 100 m NNW Pkt. 441,5 steigt der Meilener Kalk auf etwa 445 m im N von Ausserdorf und ist an der Strasse bei Waldegg auf Kote 470 m aufgeschlossen. Dann zieht er unter dem Glimmersandstein des Asphügels zu Pkt. 478,2. Die gesamte Fläche zwischen Altwie-Kätsch-Käshalden ist eine Schichtfläche auf dem Meilener Kalk. Das SSE-Gefälle vermindert sich im N von Käshalden wieder auf etwa 2 %. Bei Waldegg war der dunkelgraue, relativ glimmerreiche Knauersandstein des «Appenzeller Granites» aufgeschlossen. Im «Löli» (N Katzenrüti) ist derselbe dunkelgraue Knauersandstein auf Kote 485—490 m anstehend.

Der Glimmersandstein der Käshalde liegt direkt auf dem Niveau des Meilener Kalkes. Man hat den Eindruck, dass es sich hier um einen Kon-

densationshorizont an der Seebacher Knickzone, z. T. mit Beimischung von Material aus dem NE-Molassegebiet, handelt. Der Abfall des Meilener Kalkes im Gebiet von Seebach nach SSE ist z. T. sicher schon synsedimentär angelegt worden. Es ist daher nicht genau zu entscheiden, welchem Horizont der Glimmersandstein der Käshalde im Zürichseeraum entspricht.

10. Die Molasse am Käferberg–Hintertobel S Affoltern bei Zürich

Am Milchbuck ist die Molasse im allgemeinen nur wenig mit Moränenschutt bedeckt und wird bei Fundamentaushüben oft angefahren. An etlichen Stellen ist sie sogar direkt anstehend, z. B. am Tunnelausgang bei Oerlikon, Regensbergbrücke, Wehntalerstrasse N Friedhof Nordheim, Wipkingen u. a. Besonders erwähnt zu werden verdient der mehr als 4 m mächtige, glimmerreiche Knauersandstein, der die Unterlage der Terrasse bildet, auf welcher die Schulhäuser «Liguster» und «Gubel» stehen.

Zusammenhängende Aufschlüsse aber finden wir erst am Käferberg wieder. Unter Pkt. 509,9 ob Wipkingen ist der Knollenkalk des limnischen Leitniveaus anstehend. Stratigraphisch 25–30 m tiefer waren anlässlich des Baues der Tièchestrasse rote Mergel aufgeschlossen, welche der Rotzone der Wulp entsprechen dürften. Das limnische Leitniveau kann nicht direkt weiterverfolgt werden, da eine leichte Moränendecke die Zusammenhänge verhüllt. Doch gelang es, das Niveau in typischer Ausbildung am Weg N Pkt. 559 auf Kote 530 m wieder zu finden (Knollenkalk, bituminöse, limnische Mergel, Stinkkalk, Glimmersandstein). Das Niveau steigt mit 4 % nach NNW an und liegt im Althoos auf 540–545 m Höhe. Die Kuppe des Käferberges besteht aus einem glimmerreichen, tiefgründig verwitterten Sandstein, 25 m über dem limnischen Leitniveau. Bei Fundamentaushüben bei Neu Affoltern und N des Friedhofs Nordheim wurde Molasse sichtbar. Die Schichten zeigten an beiden Stellen übereinstimmend ein Fallen von 4° nach SSE.

Die Molasseaufschlüsse am Hinterbergtobel S Affoltern bei Zürich liegen somit alle stratigraphisch beträchtlich unter dem limnischen Leitniveau:

Weisser Knollenkalk Kote 522 m

Knauersandstein und feingeschichteter Sandstein Kote 500 m

Limnischer, schwarzer Stinkkalk 15–25 cm Kote 490 m

Limnische Zone mit Knollenkalk, Stinkkalk und Glimmersandstein Kote 475 m

Molasse war überall am Steilhang bei Ober Affoltern anstehend.

11. Zentrales Stadtgebiet

Im eigentlichen Stadtgebiet sind Molasseaufschlüsse heute naturgemäss eine grosse Rarität. Zudem sind die kurzfristigen, gelegentlichen künstlichen Aufschlüsse meist zu eng begrenzt, als dass sichere Aussagen über die stratigraphische Stellung der betreffenden Schichten gemacht werden könnten. Dies ist um so bedauerlicher, als das zentrale Stadtgebiet in einem tektonisch sehr

komplexen Abschnitt der Zürcher Molasse liegt. Molasseaufschlüsse, die auch ins Stadtgebiet fallen, wurden z. T. schon in andern Abschnitten besprochen (Sihltal, Glattal, rechte Zürichseeseite, Käferberg, Buchhoger). Im zentralen Stadtgebiet sind es im ganzen drei Punkte, alle rechts der Limmat, deren stratigraphische Stellung genau abgeklärt werden konnte.

1. Der Sandstein der «Polyterrasse» auf Kote 458 m ist ein typischer Ophiolith-Sandstein mit grobem, brekziösem Material an der Basis (vgl. Küssnacher Tobel S. 223). Die lithologischen Merkmale sind völlig identisch mit dem Ophiolith-Sandstein am Entlisberg (s. S. 205). Ohne Zweifel handelt es sich um denselben Ophiolith-Sandsteinhorizont. Das limnische Leitniveau dürfte auf etwa 465 m ü. M. liegen.

2. Im Doldertal (Tobel des Wolfbaches) ist von 490—520 m Höhe Molasse aufgeschlossen. Auf Kote 500 m sind weisse, knolligkalkige Mergel anstehend, in deren Hangendem eine limnische Zone mit einigen Millimetern Kohle, 2—4 cm Stinkkalk und hellgrauen, fossilreichen limnischen Mergeln folgt (sog. «Doldertobelzone»). Diese sind identisch mit der limnischen Zone im Sagentobel, stratigraphisch 40 m über dem limnischen Leitniveau, und ebenso mit der limnischen Zone im Stöckentobel Kote 500 m (vgl. S. 219). Das limnische Leitniveau muss hier also auf Kote 460 m liegen.

3. Aufschluss des limnischen Leitniveaus beim Fundamentationsaushub, Haus Forchstrasse 169. Das limnische Leitniveau liegt auf Kote 448 m (neuer Wert) unter Moränenbedeckung, vielleicht leicht verrutscht.

Einen Überblick über die allgemeinen geologischen Verhältnisse des Stadtgebietes vermittelt uns das geologische Kärtchen von A. ESCHER VON DER LINTH (BÜRKLl und ESCHER, 1871), zugleich das erste geologische Detailkärtchen in unserem Gebiet, ferner die ausgezeichnete geologische Karte von A. WETTSTEIN (1885) und die geologischen Übersichtskärtchen von A. VON MOOS (1949).

12. Der Buchhoger

Wir verstehen darunter in erweitertem Sinn das Gebiet zwischen Albisrieden-Schlieren-Urdorf-Uitikon. Am Emmet ob Albisrieden ist die Molasse gut aufgeschlossen. Auf Kote 505 m und 495 m sind zwei Knauersandsteinbänke anstehend, von denen die untere reichlich ophiolithisches Material enthält und kleine Gerölle führt. Die obere Bank, aufgeschlossen am Emmetbach und am Weg ob Pkt. 475,1, bildet die Fläche von Emmet (ebene Matt). Die Schichten scheinen gegen NW leicht anzusteigen. Am Weg ist auf 480 m Höhe eine auffällige Rotzone aufgeschlossen, die im Molasserutschgebiet E Pkt. 512 ebenfalls sehr gut sichtbar ist. Sie wird im Hangenden von einem weissgrauen Kalk begleitet, der an den Meilener Kalk erinnert. U. BÜCHI (1956) vermutet, dass es sich hierbei um die Rotzone des Bentonitniveaus, 20 m unter dem limnischen Leitniveau handelt. Doch liegt die Rotzone von Albisrieden etwa 100 m unter dem limnischen Leitniveau und dürfte dem Liegenden der Guggerzone etwa 40—50 m über dem Meilener

Kalk entsprechen. Man darf darum auch die 15 m höher liegende Knauersandsteinbank nicht so ohne weiteres als Basisschüttung der Konglomeratstufe bezeichnen. Der Steilhang ob Girhalden besteht aus Molasse. Die Aufschlüsse sind aber ausgesprochen schlecht. Im Bach ist Molassesandstein auf Kote 500 m und auf Kote 485—490 m anstehend. Auf eine Strecke von 2 km folgen überhaupt keine Molasseaufschlüsse mehr.

Dagegen werden die Verhältnisse ob Schlieren und am Hang E Station Urdorf um so interessanter. Der Kirchbühl ist ein Molassesporn. Auf Kote 440 bis 445 m ist hier ein Molassekalk anstehend, den Prof. Dr. H. SUTER (mündliche Mitteilung) entdeckt hat. Es ist der Meilener Kalk, wie er mächtiger und typischer nicht sein könnte. Das Niveau des «Appenzeller Granites» erscheint hier somit von neuem, jenseits der Üetliberg-Synklinale, nachdem es bei Meilen und Horgen unter das Niveau des Zürichsees abgetaucht war. Am Hang E Station Urdorf sind Meilener Kalk und Meilener Sandstein auf Kote 465—470 m aufgeschlossen. Die grosse Ausdehnung und die Einheitlichkeit der petrographischen Ausbildung dieses Niveaus lassen einen immer wieder staunen.

Am Mühlebach fehlen Molasseaufschlüsse. Erst im Haselmoos Kote 540 m und am Herdler an der Strasse Kote 535 m ist Knauersandstein anstehend. Am Buchhoger selbst finden sich unter wechselnder Moränenbedeckung wieder vermehrte, aber schlechte Molasseaufschlüsse, die anzeigen, dass der Buchhoger aus Molasse besteht. Bekannt sind die Glimmersandsteine «Bei den Fuchslöchern» an der Strasse nach Uitikon zwischen Pkt. 573 und 564,1. Diese Glimmersandsteine sind fossilführend (vgl. S. 177) und liegen rund 120 m über dem Meilener Kalk. Sie entsprechen wahrscheinlich der Glimmersandsteinzone von Langnau. NE des Buchhoger auf Kote 605 m ist an der neuen Waldstrasse der typische, plattige Glimmersandstein des limnischen Leitniveaus aufgeschlossen. Allerdings ist das Terrain verrutscht. Im Schutt konnte auch ein Stück dichten, braunen Stinkkalkes gefunden werden. Das limnische Leitniveau muss also hier durchziehen. Die Sandsteine im W und E des Buchhoger liegen somit bereits über dem limnischen Leitniveau.

Am Steilhang des Haselmooses N Landikon ist nicht Molassesandstein anstehend, wie A. WETTSTEIN (1885) in seiner Karte angibt, sondern es handelt sich um mächtige Lagen verschwemmter glazialer Sande.

13. Dietiker Hohnert

Ob Nieder Urdorf ist am E-Hang des Buchholzes auf Kote 450—460 m (Koord. 673,2—673,6/249,15—249,45) ein zäher, beigefarbener Mergelkalk und ein zäher, hellgrauer Sandstein anstehend. Es handelt sich um den Meilener Kalk und den Meilener Sandstein. Beide sind am Dietiker Hohnert in einer Ausbildung vorhanden, wie sie typischer nicht sein könnte. 30 m über dem Niveau des «Appenzeller Granites» liegt am Buchholz ein Knauersandstein. Nur wenig unter dem Meilener Kalk finden wir am W-Hang des

Dietiker Hohnert einen bituminösen Stinkkalk auf Kote 440 m (Bach ob Baltenschwil, Hang gegenüber Wiesenthal und Höhlenstrasse).

14. Die Greppe

Von der Greppe E Wettingen erwähnt W. Norz (1924) ohne genauere Angabe des Ortes einen hellgrauen Mergelkalk in der OSM. Der Kalk liegt auf 500—510 m Höhe etwa 50 m über den marinen Sandsteinen des Pfaffenbühls und steigt gegen NNW an. Er ist eng vergesellschaftet mit einem feinkörnigen, feinstgeschichteten, hell- bis dunkelgrauen Sandstein voll Rippelmarken. Es handelt sich auch hier um den unverkennbaren Meilener Kalk und Meilener Sandstein. Das Niveau an der Greppe ordnet sich gut in die übrigen Vorkommen des Meilener Kalkes im Limmattal bei Schlieren, am Dietiker Hohnert und N Zürich-Seebach ein.

Damit ist es erstmals gelungen, innerhalb der OSM einen scharf begrenzten Horizont vom SE-Rand des mittelländischen Molassebeckens bis in den NW Kanton Zürich zu verfolgen, wo er noch eine weite Verbreitung haben dürfte.

F. Die Leithorizonte

Die faziellen Verhältnisse der Zürcher Molasse, der rasche Wechsel in der Schichtabfolge, die unablässige Wiederholung vollständig gleichartiger Gesteine sowohl in vertikaler als horizontaler Richtung würden eine genaue Parallelisation der Schichtserien verunmöglichen, wenn nicht gewisse Leithorizonte vorhanden wären. Es war deshalb unsere erste Aufgabe, solche Leithorizonte — wenn überhaupt vorhanden — zu finden, denn nur mit ihrer Hilfe lässt sich eine detaillierte Stratigraphie und Tektonik erfassen. Es sind vor allem limnische Ablagerungen, wie fossile Seekreiden, ferner andere Kalkbildungen in stehenden Gewässern — wie der Wetterkalk von Hombrechtikon, der Langnauer Kalk und der Meilener Kalk — oder die Glimmersandsteine und Glimmermergel, welche als Leithorizonte in Frage kommen. Dazu kommen gewisse Nagelfluhorizonte, wie die Ophiolith-Nagelfluhen oder die Hüllisteiner Nagelfluh, die sich durch ihre Materialführung gegenüber den gewöhnlichen Molassenagelfluhen auszeichnen. Mit Hilfe der Leithorizonte zeigte es sich, dass tatsächlich auch viele gewöhnliche Nagelfluhen und Knauersandsteine weit ausgedehnten Niveaus angehören. Nur ist es unmöglich, sie wegen ihrer gleichartigen Ausbildung voneinander zu unterscheiden oder wieder zu erkennen. Viele Knauersandsteinschüttungen und Nagelfluhen, wie z. B. die Schüppenlochschüttung, die Hebeisenschüttung, die Üetliberg-Nagelfluh, die Chli-Bürglen-Schüttung (siehe S. 201) oder die Nagelfluhen im Gebiet der Glattalschwelle und am Gehänge gegen den Greifensee können denn auch bis mehrere Kilometer weit durchgehend verfolgt werden.

1. Das Niveau des «Appenzeller Granites»
(Hüllisteiner Nagelfluh, Meilener Kalk, Meilener Sandstein)

Wegen seiner grossen Ausdehnung in der OSM der Ostschweiz und in der Zürcher Molasse (s. Tafel V) möchte ich es als das «Hauptleitniveau» (HLN) der OSM im Bereich der Hörnlischüttung bezeichnen. Von Abtwil bei St. Gallen bis nach Feldbach am oberen Zürichsee, somit auf eine Erstreckung von 50 km, ist das Niveau vorwiegend durch die Hüllisteiner Nagelfluh charakterisiert, einen Nagelfluhhorizont, der durch seine dunkelgraue bis schwarze Farbe und seine Zähigkeit («Appenzeller Granit») schon früh auffiel und in der genannten Ausdehnung bereits von A. ESCHER VON DER LINDT und A. MOUSSON (1862) beschrieben worden ist. Eine weitere Merkwürdigkeit dieses Horizontes ist das Vorkommen von Brekzien im zentralen Teil des Hörnlfächers (J. J. FRÜH, 1888; H. TANNER, 1944). Neuerdings wurde dieser Horizont von U. BÜCHI und G. WELTI (1950) beschrieben. Durch Annahme eines verschwemmten, gewaltigen inneralpinen Bergsturzes versuchen diese beiden Autoren eine plausible Erklärung für die Einheitlichkeit des Materials der Hüllisteiner Nagelfluh zu geben. Die Ursache für die weite Verschwemmung im Vorland draussen und die ausgezeichnete Verkittung der Nagelfluh ist nach unserer Auffassung darin zu suchen, dass ihre Schüttung in einen mehr als 1500 km² grossen Flachsee erfolgte (N. PAVONI, 1956b). Eine Zweiphasigkeit der Schüttung besteht nach unserer Auffassung nicht. Ebensogut könnte dann eine Vielphasigkeit angenommen werden.

In der Zürcher Molasse besitzt das Niveau ebenfalls eine weite Verbreitung. In unserem Untersuchungsgebiet ist es charakterisiert durch drei Gesteinsarten:

- Die Hüllisteiner Nagelfluh:** Dunkelgraue, zähe, schwarze, im allgemeinen feinkörnige Kalk-Dolomit-Nagelfluh, 0–5 m (s. S. 158 ff.)
- Der Meilener Sandstein:** Feinstgeschichteter, hellgrauer Sandstein bis dunkelgrauer Kalk-Dolomit-Sandstein mit häufigen Wellenrippeln, 1–2,5 m
- Der Meilener Kalk:** Dichter, beigefarbener, z. T. feinstgeschichteter Mergelkalk, 0,3–2 m (s. S. 165)

Meilener Kalk und Meilener Sandstein sind Ablagerungen in einem weitausgedehnten stehenden Gewässer. Bei Hüllistein–Feldbach und ebenso im Gebiet von Grüningen–Esslingen ist die Hüllisteiner Nagelfluh dominierend in Form weitausgedehnter, sehr flacher Stromrinnen. Bei Männedorf–Horgen–Station Sihlbrugg sind es nur noch vereinzelte kleine Stromrinnen. Weiter nach NW fehlt die Hüllisteiner Nagelfluh vollständig, während Meilener Kalk und Meilener Sandstein sich in stets gleicher Ausbildung und Mächtigkeit noch über Dutzende von Kilometern verfolgen lassen. Der Meilener Kalk ist am Dietiker Hohnert 35 km, an der Greppe (2 km W Otelfingen) mehr als 40 km von Feldbach entfernt.

2. Das limnische Leitniveau der Zürcher Molasse (Wehrenbachniveau)

Typuslokalität: Wehrenbachtobel Kote 475 m (Koord. 686,07/245,50)

evtl. Stöckentobel Kote 465 m (Koord. 685,80/246,00)

Es entspricht einer ruhigen Periode in der Molassesedimentation und dürfte darum auch in der OSM der Ostschweiz eine weite Verbreitung besitzen. In grossen Flachseen und Flachmooren, die viele 100 km² gross waren, wurden die verschiedenen Schichten des Niveaus abgelagert. Diese Seen waren nur wenige Dezimeter bis Meter tief. Sie entstanden dadurch, dass die weite Schwemmlandebene abgesenkt und in der Folge mit stehendem Wasser bedeckt wurde. Damit ist die erstaunliche Flachgründigkeit dieser Seen erklärt. Natürlich gab es gewisse Schwellenzonen, so im Gebiet von Egg–Maur–Erlenbach–Meilen, wo das Niveau reduziert erscheint. In gewissen Fällen sind auch die oberen Partien des Niveaus bereits primär durch die Erosion der Molasseflüsse wieder entfernt worden. Das Wehrenbachniveau liegt im Zürichseeraum stratigraphisch 140 bis 150 m über dem Meilener Kalk. Der Knollenkalk des limnischen Leitniveaus ist identisch mit dem Wetterkalk von Hombrechtikon. Seine Ausdehnung beträgt auf Grund der aus der Zürcher Molasse zusammenhängend bekanntgewordenen Fundpunkte 800 km² (vgl. das Profil S. 218).

Wichtige Lokalitäten des limnischen Leitniveaus:

Glattalschwelle:	Wetterkalk von Hombrechtikon	Verbreitung s. S. 232ff.
Pfannenstiel E-Hang:	Tobel bei Vorder Radrain	Kote 605 m
Glattal:	Uessikerholz	Kote 540 m (red.)
	Benkeltobel	Kote 515 m (red.)
	Mühletobel	Kote 505 m
	Fällander Tobel	Kote 495 m
	Brandholz	Kote 490 m
	Schlosstobel	Kote 475 m
	Ursprungtobel	Kote 475 m
	Sagentobel	Kote 480 m
	Ziegelei Schwamendingen	Kote 484 m
	Unterholz	Kote 488—490 m
Käferberg:	Pkt. 509,9 ob Wipkingen	Kote 510 m
	Althoos	Kote 540 m
Rechte Zürichseeseite:	Stöckentobel	Kote 465 m
	Wehrenbachtobel	Kote 475 m
	Salster ob Zollikon	Kote 550 m
	Küsnachter Tobel	Kote 540 m
	Erlenbacher Tobel	Kote 545—550 m (red.)
	Meilener Tobel	Kote 560 m (red.)
Sihltal:	Beugentobel	Kote 575 m (red.)
	Entlisberg	Kote 470 m
	Neubühl	Kote 470 m
	Langenberg	Kote 540 m
	Station Sihlbrugg (Tobel ob Steinmatt)	Kote 665 m
	Sihlzopf	Kote 540 m (red.)

Albis-Üetliberg E-Hang:	Wüstes Tobel	Kote 820—825 m
	Brunnentobel	Kote 680 m
	Schwyzertobel	Kote 640 m
	Rossweg (Kohlenbergwerk)	Kote 605 m
	Tobel bei Felseneggweg	Kote 565 m
	Rütschlibach	Kote 520 m
	Sarbental	Kote 525 m
	Sädlen	Kote 540 m
	Üetlibergbahn	Kote 570 m
Reppischtal und Albis- Üetliberg W-Hang:	Tobel S Ober Reppischthal	Kote 550 m
	Landikon	Kote 540 m
	Riedhof (Kohlenbergwerk)	Kote 610—620 m
	Türlen	Kote 650—660 m
	Tiefenbach	Kote 723 m (E. LETSCH, 1899)
	Ebertswilerholz	Kote 760—770 m (red.)
	Talbach S Schweikhof	Kote 635 m (red.)

3. Weitere wichtige Kalkhorizonte

- a) Stägholzkalk: Weisser Knollenkalk SE Egg, Tiefenthaler Tobel Kote 505 m, stratigraphisch 45—50 m über dem Meilener Kalk. Identisch mit dem Kalk der Guggerzone. Weitere Vorkommen: Rossbach bei Herrliberg Kote 448 m, Meilener Tobel Kote 460 m
- b) Langnauer Kalk: Knollenkalk, rechter Sihlhang bei Langnau, gegenüber Spinnerei Kote 475—485 m, stratigraphisch rund 100 m über dem Meilener Kalk. Liegt direkt unter dem Bentonitniveau. Sehr weite Verbreitung: Sihltal bis Station Sihlbrugg, Küsnachter Tobel Kote 505 m, Uessikerholz 505—510 m, Schleifetobelbach ob Stäfa Kote 455 m
- c) Wetterkalk von Hombrechtikon: 145 m über dem Meilener Kalk. Identisch mit dem Knollenkalk im limnischen Leitniveau der Zürcher Molasse (vgl. Profile S. 218, 244). Weite Verbreitung (s. S. 232ff.)
- d) Doldertobelzone: Knollenkalk und limnische Zone mit Stinkkalk, stratigraphisch 40—50 m über dem limnischen Leitniveau
- Vorkommen:
- | | |
|-----------------------------|------------|
| Doldertobel | Kote 500 m |
| Stöckentobel | Kote 500 m |
| Sädlen ob Triemli | Kote 565 m |
| Höcklerweg | Kote 565 m |
| Ris (Ober Leimbach) | Kote 570 m |
| Sagentobel | Kote 525 m |
| Mettentobel (N Pfaffhausen) | Kote 515 m |
| Küsnachter Tobel | Kote 590 m |
- e) Chli-Bürglen-Kalk: Knollenkalk Chli Bürglen (Schnabellücke) Kote 810 bis 825 m, hier stratigraphisch rund 100 m über dem limnischen Leitniveau
- Brunnentobel Kote 775 m, Albishorn Kote 870 m

- f) Kalkzone der unteren Falätsche: 2 bis 3 Horizonte, davon deren wichtigster Falätsche 610 m, weite Verbreitung: Albispas-Falätsche, Pfannenstiel-Zürichberg
- | | |
|---------------------------------------|------------|
| Vorkommen: Winzelentobel | Kote 780 m |
| Felseneggweg | Kote 680 m |
| Ris (Ober Leimbach) | Kote 635 m |
| Falätsche | Kote 610 m |
| Stierenweidtabel (oberes Reppischtal) | Kote 710 m |
| Habersaat | Kote 760 m |
| Tobel bei Stallikon | Kote 620 m |
| Hinterer Pfannenstiel | Kote 715 m |
| Schufelberg (E Pfannenstiel) | Kote 715 m |
| Sagentobel | Kote 565 m |
| Resiweihertobel | Kote 605 m |
- g) Knollenkalk im Liegenden der Ophiolith-Nagelfluh vom Albispas.
- h) Knollenkalk über der mächtigen Nagelfluhbank der Pfannenstiel-Basisschüttung.
- i) Kalk an der Felsenegg Kote 770 m. Vorkommen: Falätsche Kote 709 m, Berneggweg Kote 715 m.
- k) Knollenkalk Falätsche Kote 780 m.
- l) Roter Knollenkalk Falätsche Kote 785 m.
- m) Kalkzone am Üetlibergkum, 2,8 m mächtig, Kote 845 m.

Die Kalke von k)–m) liegen zu hoch, als dass sie noch eine weite Verbreitung besitzen könnten.

4. Glimmersandstein- und Glimmermergel-Horizonte

Glimmersandsteine und Glimmermergel treten in der Zürcher Molasse meist miteinander vergesellschaftet immer wieder auf. Es handelt sich um wenige Meter bis 15 m mächtige Horizonte. Es sind limnische Ablagerungen. Dies geht aus ihrer weiten, flächenhaften Ausdehnung wie auch aus ihrer faziellen Ausbildung hervor. An ihrer Basis liegt oft ein ausgedehntes Kalkniveau. Wie die Verhältnisse in der Zürcher Molasse zeigen, kommen Glimmersandsteine in allen Stufen der Zürcher Molasse vor. Sie sind nicht auf eine bestimmte stratigraphische Stufe der OSM und nicht geographisch auf ein Gebiet N einer Linie Lägern-Konstanz beschränkt, wie das heute allgemein angenommen wird (s. Anmerkung S. 268).

Folgende Glimmersandstein-Horizonte besitzen in der Zürcher Molasse eine weite Verbreitung:

- a) Glimmersandsteinzone der Käshalde N Seebach: Mehrere Meter mächtige Glimmersande und Glimmersandstein, direkt über dem Meilener Kalk.
- b) Guggerzone: Glimmermergel und Glimmersandsteine, stratigraphisch 45–60 m über dem Meilener Kalk.

Vorkommen: Tobelbach im Gugger bei Zollikon	Kote 425–435 m
Küsnachter Tobel	Kote 450 m
Obstgarten bei Oberrieden	Kote 420 m
Mittlerer Hebeisenbach	Kote 560 m

- c) Langnauer Zone: Glimmersandstein und Glimmermergel, stratigraphisch 100—120 m über dem Meilener Kalk. Dazu gehören auch die Glimmersandsteine NE Uetikon Kote 570 m.
- d) Türlenzzone: Glimmersandsteine 130—140 m über dem Meilener Kalk. Im Bereich und im Hangenden der Ophiolith-Nagelfluhzzone vom Sihlzipf, direkt unter dem limnischen Leitniveau.
- e) Entlisbergzone: Glimmermergel und Glimmersandsteine direkt über dem limnischen Leitniveau.
- f) Sagentobelzone: Glimmermergel und glimmerreicher Sandstein, stratigraphisch 25—35 m über dem limnischen Leitniveau.
- g) Maneggzone: Glimmermergel und Glimmersandsteine, an der Manegg 130—140 m über dem limnischen Leitniveau (etwa 280 m über dem Meilener Kalk).
- h) Uetlibergkumzone: Glimmersande und Glimmersandsteine 310—325 m über dem limnischen Leitniveau, etwa 460—475 m über dem Meilener Kalk.

5. Die Ophiolith-Nagelfluh- und Ophiolith-Sandstein-Horizonte

Es sind vor allem drei Nagelfluh-Knauersandstein-Horizonte, die durch ihren höheren Gehalt an ophiolithischem Material auffallen.

- a) Die Ophiolith-Nagelfluh von Uetikon: Sie liegt stratigraphisch 50 m unter dem Meilener Kalk. Auffällig viele rote Radiolarite.
- b) Die Ophiolith-Nagelfluh vom Sihlzipf: Zu diesem Horizont gehören auch alle ophiolithreichen Sandsteine, 8—10 m unter dem limnischen Leitniveau. Der Horizont liegt stratigraphisch 130—135 m über dem Meilener Kalk. Er ist identisch mit der Ophiolith-Nagelfluh am Nollen (F. HOFMANN, 1951). 10—20 m unter der Ophiolith-Nagelfluh vom Sihlzipf finden sich ophiolithreiche Sandsteine und bei Pkt. 628,6 W Risiboden eine ophiolithreiche Nagelfluh.
- c) Die Ophiolith-Nagelfluh vom Albispass: Sie liegt stratigraphisch 290 m über dem Meilener Kalk. 10—20 m tiefer, im Liegenden ophiolithreiche Sandsteine und Nagelfluhen. Ophiolith-Nagelfluh Chnübrecchi W Albispass Kote 770 m, ophiolithreiche Nagelfluh an der Forch und an der Basis des Pfannenstiels.

Die Ophiolith-Nagelfluhen werden im Liegenden von relativ ophiolithreichen Nagelfluhen und Sandsteinen begleitet. Ein weiterer ophiolithreicher Nagelfluhhorizont, stratigraphisch 90 m über dem Meilener Kalk, die Stollen-Basisnagelfluh, finden wir im Gebiet der Glattalschwelle und am oberen Zürichsee:

Aufschlüsse bei Uerikon	Kote 440 m
Aufschlüsse am Stollen ob Männedorf	Kote 610—620 m
Aufschlüsse ob Wädenswil	Kote 475 m

Die Baldernschüttung ist ebenfalls relativ ophiolithreich, sie führt stellenweise auch auffällig viele rote Hornsteine.

6. Der vulkanische Tuffhorizont im Küsnachter Tobel

Dieser Horizont konnte in unserem Untersuchungsgebiet bis jetzt einzig im Küsnachter Tobel Kote 505 m gefunden werden. Es wird eine spätere Aufgabe sein, ihn noch weiter zu verfolgen, da er theoretisch noch an zahlreichen Stellen in der Zürcher Molasse gefunden werden sollte (etwa 30 m unter dem limni-

schen Leitniveau). Praktisch wird er aber nur noch an wenigen Stellen vorhanden sein, da er zumeist durch primäre Erosion, d. h. schon zur Zeit der Sedimentation der direkt darüber liegenden Schichten bereits wieder abgetragen wurde. Der Bentonit im Küsnachter Tobel ist, obwohl er nur auf eine Erstreckung von wenigen hundert Metern anstehend ist, von grossem Interesse, nicht nur, weil es sich um ein völlig anderes Gestein als die gewöhnlichen Molasseschichten handelt, sondern weil er auch ein wichtiger Korrelationshorizont mit der OSM der Ostschweiz darstellt.

G. Die stratigraphische Korrelation der verschiedenen Teilgebiete

Eine sichere stratigraphische Korrelation durchzuführen war in vielen Fällen ein sehr schwieriges Problem. In den meisten umstrittenen Fällen hiess die Frage: Ist die vorliegende limnische Zone das «limnische Leitniveau» der Zürcher Molasse oder gehört sie zu einem anderen limnischen Horizont?

Auf sicherem Boden befinden wir uns überall dort, wo das Niveau des «Appenzeller Granites», insbesondere der Meilener Kalk, zum Vorschein kommt, also im Gebiet der Glattalschwelle, am Zürichsee von Feldbach bis Meilen, im Gebiet von Käpfnach-Oberrieden und im Sihltal bei Station Sihlbrugg, ferner jenseits der Üetliberg-Synklinale, am Dietiker Hohnert, bei Schlieren, an der Greppe und bei Seebach. Man vergleiche die stratigraphisch-geologische Beschreibung des Untersuchungsgebietes (Abschnitt III E, S. 191 ff.).

Gesichert ist ferner die stratigraphische Stellung der Molasse Meilener Tobel-Erlenbacher Tobel-Heslibach-Küsnachter Tobel, gesichert ist der Zusammenhang Schwamendingen-Fällander Tobel-Benkeltobel-Uessiker Tobel. Andererseits ist das limnische Leitniveau bei Schwamendingen identisch mit dem limnischen Niveau im Stöckentobel. Damit ist das limnische Niveau am Wehrenbach (s. S. 218) identisch mit dem limnischen Niveau im Küsnachter Tobel (s. S. 222). Fraglich bleibt einzig die Stellung der limnischen Zone im Salster ob Zollikon (s. S. 220). Die stratigraphische Lage über dem Meilener Kalk, wie auch die ganze Schichtabfolge der Molasse im Uessikerholz (s. S. 237) sind vollständig identisch mit den Verhältnissen im Sihltal bei Station Sihlbrugg (s. S. 208). Die Korrelation zwischen der Molasse Zimmerberg-Sihltal und der Molasse Pfannenstiel-Zürichberg ist somit gesichert.

Das grosse Problem ist die Frage nach der stratigraphischen Stellung der Molasseschichten am Albis im Vergleich zum Zimmerberg: Am Albis selbst sind die Zusammenhänge ebenfalls eindeutig gegeben durch die limnische Zone und weitere Leithorizonte, wie z. B. der Chli-Bürglen-Kalk (s. S. 200, 254), die Kalkzone der unteren Falätsche (s. S. 193, 255), die Baldernschüttung (s. S. 193 ff.), die Chli-Bürglen-Nagelfluh (s. S. 201 ff.), die Ophiolith-Nagelfluh vom Albispass (s. S. 193, 199, 256), die wir am ganzen Albis verfolgen konnten. Be-

trachten wir das limnische Leitniveau: Üetlibergbahn (limnisches Leitniveau auf Kote 570 m)–Sädlen (540 m) ist identisch mit Rüttschlibach (520 m, s. S. 191) und Landikon (535 m, s. S. 192). Andererseits ist Rüttschlibach (520 m, s. S. 191) zweifellos identisch mit Felseneggweg (565 m, s. S. 198)–Hinter-Stieg (575 m, s. S. 198), und dies ist wiederum dasselbe Niveau wie Rossweg (605 m, s. S. 198)–Riedhof (615 m, s. S. 200)–Schwyzertobel (640 m, s. S. 198)–Türlen (660 m, s. S. 199)–Brunnentobel (680 m, s. S. 200). Brunnentobel (680 m) ist identisch mit dem limnischen Niveau im Wüsten Tobel (825 m, s. S. 201). Das limnische Niveau am Rüttschlibach (520 m) ist somit identisch mit dem limnischen Niveau im Wüsten Tobel (825 m).

Dass das limnische Niveau am Albis dem limnischen Leitniveau der Zürcher Molasse entspricht, ergibt sich aus folgenden Vergleichen:

1. Vergleich limnisches Niveau Entlisberg–Rüttschlibach (N. PAVONI, 1952):

Entlisberg:

Muskowitreicher, grüner Sandstein mit häufigen Rippelmarken und Wurmspuren, bankig, etwa Kote 470–472 m

Plattiger Stinkkalk mit limnischen Fossilien: oberer Teil etwa 20 cm mit Charapflanzenresten, selten Rostflecken, etwa Kote 470 m

Mergellagen 2–3 m

Unterer Teil leicht bräunlich, voll Poren (Poren = Charafrüchtchen) etwa 10–15 cm

Oben kohlige, bituminöse Mergel mit limnischen Fossilien, nach unten übergehend in weissliche Mergel mit limnischen Fossilien, etwa 1,5 m mächtig

Rüttschlibach:

Muskowitreicher, grüner Sandstein mit häufigen Rippelmarken und Wurmspuren, etwa Kote 520–522 m

Feingeschichtete braungelbe Mergel, 2 m

Plattiger Stinkkalk mit limnischen Fossilien, etwa 20 cm mächtig, mit Charapflanzenresten, z. T. rostigen Flecken, etwa Kote 518 m

30 cm bituminöse Mergel, sehr reich an limnischen Fossilien

Brauner bituminöser Stinkkalk, voll von limnischen Fossilien; viele feine Poren (Poren = Charafrüchtchen)

Bituminöse Mergel mit limnischen Fossilien, übergehend in silberweisse, feingeschichtete Mergel, 1 m mächtig

2. Vergleich Sagentobelprofil–Rüttschlibachprofil:

Sagentobel:

Glimmersandstein Kote 580–590 m

Weisse Kalkmergel Kote 565 m

Knauersandstein Kote 545 m

Knauersandstein Kote 525 m

Limnische Mergel Kote 520 m

Knauersandstein Kote 505 m

Limnisches Niveau Kote 480 m

(Ophiolith-Sandstein Kote 470 m)

Rüttschlibach–Falätsche:

Glimmersandstein und -mergel Kote 620 bis 630 m

Weisser Knollenkalk Kote 610 m

Knauersandstein Kote 580 m

Knauersandstein Kote 560 m

(Limnische Mergel plus Knollenkalk ob dem Höckler Kote 560 m)

Knauersandstein Kote 540 m

Limnisches Niveau Kote 520 m

Ophiolith-Sandstein Kote 510 m

3. Das limnische Niveau an der Buchhalde S Ober Reppischthal: Kote 550 m ist identisch mit dem limnischen Niveau im Küssnacher Tobel Kote 540 m (vgl. N. PAVONI, 1956a). Es liegt 150—160 m über dem Meilener Kalk. Das limnische Niveau an der Üetlibergbahn Kote 570 m—Buchhoger Kote 600—610 m liegt ebenfalls etwa 150—160 m über dem Meilener Kalk bei Schlieren.

4. Am Hauserberg liegen im Antiklinalscheitel auf Kote 685 m feinkörnige, feinstgeschichtete Sandsteine und ein feinstgeschichteter beigefarbener Kalk, der allerdings knollenartig aufgelöst ist. Es handelt sich nach unserem Dafürhalten um das Niveau des «Appenzeller Granites», das hier, wahrscheinlich bereits primär, reduziert und stark verwittert ist. Dass das Niveau des «Appenzeller Granites» hier auftritt, beweist, dass das limnische Niveau im Wüsten Tobel Kote 825 m das limnische Leitniveau der Zürcher Molasse ist.

H. Die stratigraphische Gliederung der Zürcher Molasse

(vgl. Tafeln III und IV)

In unserem Gebiet sind die Molasseschichten in einer Mächtigkeit von 600 m aufgeschlossen. Es handelt sich stets um die limnofluviatilen Serien der OSM. Eine Gliederung in diese durchweg gleichartigen Schichten zu bringen, erscheint sehr schwierig oder dann sehr subjektiv. Sozusagen alle Kriterien, von denen man anfänglich vielleicht glaubte, dass sie etwas Besonderes darstellen würden – wie z. B. Glimmersandstein-Horizonte, ophiolithische Horizonte – und auf die man eine stratigraphische Gliederung hätte abstellen können, erwiesen sich im Laufe der weiteren Untersuchungen als etwas durchaus Gewöhnliches, immer wieder Vorkommendes. Einzig das Niveau des Meilener Kalkes und der Küssnacher Bentonithorizont sind wirklich einmalige Erscheinungen geblieben. Leitfossilien, die für eine detaillierte und paläontologisch einwandfrei fundierte stratigraphische Gliederung der Zürcher Molasse herbeigezogen werden könnten, fehlen vorläufig. Schuld daran ist in erster Linie die Sterilität der Schichten im allgemeinen, die Fazies, der mangelhafte Erhaltungszustand der meisten Fossilien, nicht zuletzt aber auch das Fehlen paläontologischer Detailuntersuchungen in der OSM der Schweiz.

Wie bei allen Arbeiten in der Süswassermolasse müssen wir uns mit einer vorwiegend lithologischen Gliederung abfinden. Doch wo sollen die Abgrenzungen gezogen werden? Betrachten wir z. B. das 300 m mächtige Falätsche-Rütschlibachprofil: Petrographische und lithologische Unterschiede zwischen den oberen und unteren Serien existieren kaum. Im Detail können allerdings gewisse auffällige Mergel- und Sandsteinserien von 15—70 m Mächtigkeit ausgedehnt werden. So haben wir unterschieden (von oben nach unten):

Am Üetliberg:

Die oberen Üetliberg-Schichten mit den beiden Üetliberggipfel-Nagelfluhen und mehreren Sandsteinbänken
Die Üetlibergmergel

An der Falätsche und am Üetliberg: **Die unteren Üetliberg-Schichten** mit der Üetliberg-Nagelfluh und verschiedenen auffälligen Knauersandstein-Horizonten
Die oberen Falätschenmergel
Die Baldernschüttung, eine weit verfolgbare Serie mehrerer, dicht übereinanderliegender Knauersandstein-Horizonte
Die mittleren Falätschenmergel
Die Höckleregg-Sandsteine, ophiolithreiche Sandsteine, Nagelfluh und Glimmersandsteine, die den Ophiolith-Nagelfluhen und -Sandsteinen am Albispass entsprechen
Die unteren Falätschenmergel mit den Knollenkalkhorizonten im oberen Teil

Am Rütchlibach und am Entlisberg: **Die Rütchlibachserie** mit drei weitausgedehnten Sandsteinniveaus: Rütchlibach Kote 580 m, Rütchlibach Kote 560 m, Rütchlibach Kote 540 m, die durch Mergelserien teils limnischen Charakters getrennt sind. Die oberen Abschnitte der Rütchlibachzone umfassen noch Schichten, die an der Bürglen wesentlich mächtiger ausgebildet sind (vgl. Tafel III und Tafel IV)
Die Entlisbergmergel, vorwiegend limnische Mergel, mit Glimmersandsteinen und dem limnischen Leitniveau der Zürcher Molasse im untern Teil
Ophiolithreicher Sandstein, welcher der Ophiolith-Nagelfluh- und -Sandsteinschüttung vom Sihlzopf entspricht

Am 150 m mächtigen, gut aufgeschlossenen Molasseprofil der Hebeisenbäche bei Station Sihlbrugg (vgl. S. 209) ergab sich folgende Gliederung (von oben nach unten):

Ophiolith-Nagelfluh- und -Sandsteinschüttung vom Sihlzopf, ein sehr auffälliger und weitausgedehnter Horizont

Die oberen Hebeisenmergel, eine Mergelserie mit zahlreichen bunten Mergellagen; Langnauer Kalk

Die Schüepfenlochschtüttung, eine Serie von dicht aufeinander folgenden Sandsteinhorizonten, die sich im ganzen Untersuchungsgebiet verfolgen lassen

Die mittleren Hebeisenmergel mit dem Glimmersand der Guggerzone

Die Hebeisenschüttung, eine Sandsteinschüttung, die im Untersuchungsgebiet (Sihltal-Zürichseetal-Glattal) eine weite Verbreitung besitzt

Die unteren Hebeisenmergel

Das Niveau des «Appenzeller Granites»

Die einzelnen Abschnitte wurden nach Lokalitäten benannt, wo die betreffenden Schichten gut aufgeschlossen sind. Diese Gliederung ist insofern nicht einfach zufällig, als es sich um Abschnitte handelt, die sich in der Zürcher Molasse über weite Distanzen verfolgen lassen und immer wieder erkannt werden können.

Wie kam es aber zur Unterscheidung der Meilener Schichten, der Zürich-Schichten, der Pfannenstiel-Schichten und der Üetliberg-Schichten? Wo am Falätscheprofil beginnen die Pfannenstiel-Schichten oder wo beginnen die Üetliberg-Schichten, warum gerade mit diesem Sandsteinhorizont und nicht mit dem nächst höheren usw.? Eine solche Unterscheidung und Abgrenzung grösserer Einheiten, die jeweils mehrere der oben genannten Abschnitte umfassen, erscheint zunächst rein willkürlich und somit überflüssig. Wir hätten eine solche Gliederung nicht vorgenommen, wenn sich nicht im Laufe der Untersuchung zu den rein lithologischen Gesichtspunkten ein weiteres Kriterium hinzugestellt hätte, das ebenfalls für eine Gliederung sinngemäss verwendet werden kann.

Zur Zeit der Ablagerung der Zürcher Molasse kam es zu wiederholten Absenkungen, sei es des gesamten Troges, sei es auch nur von Teilen desselben. Diese Absenkungen (Immersionen) sind im Sedimentationsbild abgezeichnet, ja sie haben es zum grossen Teil bestimmt. Diese Immersionen können allerdings nicht aus dem Falätscheprofil allein abgeleitet werden. Dazu ist es notwendig, die Zürcher Molasse als Ganzes zu überblicken. Es sei an dieser Stelle ganz besonders auf die beiden stratigraphisch-lithologischen Profile der Tafel III hingewiesen. Aus diesen Profilen können sämtliche Überlegungen abgeleitet werden, die uns zur Aufstellung der verschiedenen Immersionsphasen (s. S. 297) in der Zürcher Molasse geführt haben. Man vergleiche auch das «Querprofil durch den Sedimentationsraum der OSM zwischen Dielsdorf und Rapperswil» (S. 295). Im Abschnitt über die Sedimentation der Zürcher Molasse (s. S. 291 ff.) haben wir die Immersionen im allgemeinen, ihre Begründung, ihre Ausprägung im Sedimentationsbild und ihre Abgrenzung eingehend besprochen. Im folgenden seien die Gründe kurz dargelegt, die uns zur Annahme von zeitlich wie regional deutlich begrenzten Immersionen während der Ablagerung der Zürcher Molasse geführt haben:

1. Wenn wir die Mächtigkeiten der Molasse z. B. am Albis betrachten, so können wir, besonders in den Schichten, welche stratigraphisch etwa 60 bis 70 m über dem limnischen Leitniveau liegen, deutliche Unterschiede im Sinne einer Mächtigkeitszunahme gegen SSE hin erkennen.

2. In scheinbarem Gegensatz zu dieser Tatsache steht die Beobachtung, dass die verschiedenen Horizonte in weitaus den meisten Abschnitten konkordant, mit gleichbleibenden stratigraphischen Abständen voneinander verlaufen.

3. Der Verlauf der Leithorizonte über weite Erstreckungen erscheint in einigen Fällen, so z. B. der Verlauf des limnischen Leitniveaus am Albis-Buchhoger, deutlich gestuft. Abschnitte mit flacher Lagerung wechseln ab mit solchen stärkeren Fallens.

Alle diese Feststellungen ergeben sich im allgemeinen erst bei einer Zusammenstellung der Profile. Die Änderungen sind zu gering, als dass sie im Feld direkt beobachtet werden könnten.

Wie ist es möglich, dass die Schichten weitgehend konkordant verlaufen und dennoch eine Mächtigkeitszunahme stattfindet? An zwei Beispielen können die Verhältnisse relativ gut erläutert werden:

Im Abschnitt Winzelentobel–Renggerberg, im Bereich S des Albispasses, kann eine deutliche Mächtigkeitszunahme der Molasseserien festgestellt werden. Im Winzelentobel, im N des Albispasses, liegt die Ophiolith-Nagelfluh stratigraphisch 135–140 m über dem limnischen Leitniveau, im S des Albispasses, am Renggerberg aber derselbe Horizont stratigraphisch 155 m über dem limnischen Leitniveau. Die gleiche Serie ist somit im S etwa 20 m mächtiger geworden. Die Horizonte verlaufen jedoch im Abschnitt Bürglen–Albishorn wie auch im N des Albispasses durchaus konkordant. Was sich im S neu einschaltet sind die Nagelfluhbänke an der Bürglen. Nach Ablagerung der Molasseserien bis etwa 60 m über dem limnischen Leitniveau, d. h. nach Ablagerung der Zürich-Schichten, die alle konkordant liegen, kam es im Raume Bürglen–Albishorn und weiter im S zu einer langsamen Absenkung (1. Pfannenstielphase, s. S. 297) gegenüber dem Gebiet im N des Albispasses. In diesem abgesenkten Gebiet kam es in erster Linie zu Ablagerung von Kies und Sand und auch, weil die Schutzzufuhr temporär fehlte, zur Bildung eines Sees (Stinkkalk und limnische, bituminöse Mergel stratigraphisch 8 m unter der Chli-Bürglen-Nagelfluh). So wurde zunächst vorwiegend im Immersionsgebiet Material sedimentiert. Nach der «Auffüllung» griff dann die Sedimentation wieder weiter nach N aus. Zeitweise war das auch während der Immersion der Fall gewesen, da diese langsam erfolgte.

Ein weiteres sehr eindrückliches Beispiel liefern die Nagelfluhen am Pfannenstiel (s. S. 244). Die Nagelfluhen an der Basis zeigen zwischen Forch und Vorder Pfannenstiel ein mittleres Gefälle von nur 1,3 % gegen NW. Die obersten Nagelfluhen hingegen zeigen ein Gefälle von 4 % gegen NW. Hier besteht eine eigentliche Schichtdiskordanz. Im südlichen Pfannenstiel sind denn auch mehrere Nagelfluhbänke eingeschaltet, zu denen wir im N keine Äquivalente finden. Im Bereich des S Pfannenstiels muss einst, besonders zur Zeit der 4. Pfannenstielphase, ein kräftiges Immersionsgebiet gelegen haben. An der Pfannenstielbasis finden wir die mächtigsten Nagelfluhbänke, im Raggentobel bis 21 m mächtig, und auch die grössten Gerölle, am Schufelberg bis 24 cm grösster Durchmesser, eine Tatsache, die zunächst erstaunen mag. Die Feststellung aber, dass der Pfannenstiel ein Immersionsgebiet darstellt, erklärt diese Beobachtung in schönster Weise und findet darin eine weitere Begründung.

Die Entdeckung ausgedehnter Leithorizonte und die Verfolgung zahlreicher Nagelfluh- und Knauersandsteinbänke erlaubte unter Berücksichtigung der gegenseitigen stratigraphischen Abstände die Konstruktion der beiden stratigraphisch-lithologischen Profile auf Tafel III. Die Analyse dieser Profile erhellt, dass offensichtlich etliche markante Knauersandstein- und Nagelfluh-

schüttungen mit synsedimentären Immersionen in Zusammenhang stehen. Wir sind so weit gegangen, alle weitausgedehnten Knauersandstein- und Nagelfluhschüttungen, die meist aus einer ganzen Anzahl relativ dicht übereinanderliegenden Bänken bestehen, mit Absenkungen, sei es des ganzen Troges oder nur eines bestimmten Teiles desselben, in Beziehung zu bringen. Solche Absenkungen müssen ja unbedingt angenommen werden.

Die Immersionsgebiete waren vorwiegend die Gebiete, wo – wenn überhaupt – sedimentiert wurde. Sie spielten eine wesentliche Rolle für die Verteilung und Anhäufung des zugeführten Materials im Vorland draussen. Über die Art des Materials, welches sedimentiert wurde, ist damit nichts gesagt, indem dies hauptsächlich eine Frage der Transportkraft und der Schüttungsintensität der Zuflüsse war, welche in erster Linie von den Vorgängen im damaligen alpinen Gebirge abhingen. Im Vergleich zur Sedimentationsgeschwindigkeit gingen die Immersionen ausserordentlich langsam vor sich, und es ist darum ohne weiteres gegeben, dass sich gerade in den Immersionsgebieten die Gesteine der Rinnenfazies, somit Ablagerungen aus Zeiten mit geringer Schüttungsintensität, anhäufen konnten. Dass zu Zeiten starker Schüttungsintensität (s. S. 185) ganz besonders in den Immersionsgebieten mergelhaltige Gesteine zum Absatz gelangten, versteht sich von selbst. Da die Überschwemmungssedimente rasch abgelagert wurden, die Immersionen jedoch langsam erfolgten, dürfte die «dirigierende» Wirkung der Immersionen bei den Inundationssedimenten weniger stark zum Ausdruck kommen als bei den Gesteinen der Rinnenfazies.

Auf Grund der genannten Feststellungen und Überlegungen sind wir schliesslich zur Ableitung der verschiedenen Immersionsphasen der Zürcher Molasse gekommen, die wir in der Tabelle S. 297 dargestellt haben. Zusammen mit den lithologisch-stratigraphischen Gegebenheiten lässt sich somit eine begründete Gliederung der Zürcher Molasse durchführen, die allerdings auch so noch ein gewisses Mass an Subjektivität enthält, das bei jeder Gliederung unvermeidlich sein wird, besonders wenn es sich um Sedimente von Süswassermolasse handelt:

Die Meilener Schichten beginnen mit dem Niveau des «Appenzeller Granites» und umfassen alle Schichten vom Meilener Kalk bis zu den oberen Hebeisenmergeln. Die Zürich-Schichten beginnen mit den Ophiolith-Sandstein- und -Nagelfluhschüttungen vom Sihlzipf. Sie umfassen neben diesen die Entlisbergmergel, den unteren und mittleren Abschnitt der Rüttschlibachserie. Meilener Schichten und Zürich-Schichten zeichnen sich durch gleichmässige, gleichbleibende Mächtigkeiten im Untersuchungsgebiet aus. Die Hauptabsenkungen des Molassetroges müssen im NW, ausserhalb unseres Untersuchungsgebietes erfolgt sein.

Nach Ablagerung der Zürich-Schichten kam es im eigentlichen Zürichseeraum zu wiederholten Absenkungen, die verstärkte Nagelfluhschüttungen im Gefolge hatten. Mit der ersten Pfannenstielphase im Gebiet Albishorn-Bürglen begann die Ablagerung der Pfannenstiel-Schichten. Diese schliessen gegen oben mit der Baldernschüttung und den obern Falätschenmergeln

ab, die ein Abklingen der Immersionstätigkeit im eigentlichen Zürichseegebiet andeuten.

Bereits innerhalb der Pfannenstiel-Schichten ist eine deutliche Verlagerung der Knickzonen, d. h. der Abschnitte, entlang welchen die Immersionen erfolgten, gegen NW hin zu erkennen, um so weiter je höher wir stratigraphisch steigen. Die nach Ablagerung der oberen Falätschenmergel erneut einsetzenden Immersionen innerhalb des Molassetroges verlagerten sich abermals weiter nach NW, d. h. ihre Knickzonen lagen im NW, wahrscheinlich ausserhalb unseres eigentlichen Untersuchungsgebietes. Es kam zur Ablagerung häufiger Sand- und Kieshorizonte im Gebiet des heutigen Üetliberges: der späteren **Üetliberg-Schichten**. Diese umfassen alle Schichten von der Burgweidschüttung (zwischen Felsenegg und Baldern) bis zum Gipfel des Üetlibergs.

Tektonisch-lithologische Gliederung der OSM über dem Meilener Kalk im Zürichseeraum
(Vgl. die Tabelle der Immersionsphasen S. 297, ferner die «Stratigraphisch-lithologische Übersicht der Zürcher Molasse», Tafel IV)

Immersionsphasen	Bezeichnung der einzelnen Schichtserien	Mächtigkeiten	
Üetlibergphasen	Obere Üetliberg-Schichten	40 m (Üe)	130 m Üetliberg- Schichten
	Üetlibergmergel	10—20 m (Üe)	
	Untere Üetliberg-Schichten	70 m (Fa-Üe)	
Pfannenstielphasen	Obere Falätschenmergel	20 m (Fa)	150—230 m Pfannenstiel Schichten
	Baldernschüttung	20—30 m (A-Wa)	
	Mittlere Falätschenmergel = mittl. Pfannenstiel-Nagelfluhen	30 m (Fa) 70—80 m (Pf)	
	Albispaßschüttung	25 m (A +)	
	Untere Falätschenmergel	20—25 m (Fa +)	
	Bürglenschüttung = oberer Abschnitt der Rüttschlibachserie	40—50 m (Bü-Schn) 10 m (Fa +)	
	Zürichphasen	Mittlerer und unterer Abschnitt der Rüttschlibachserie	
	Entlisbergmergel	25—30 m (E, Rü +)	
	Sihlzipfschüttung	20—25 m (K)	
Meilener Phasen	Obere Hebeisenmergel	30—40 m (He +)	110—120 m Meilener Schichten
	Schüppenlochschüttung	20 m (Si +)	
	Mittlere Hebeisenmergel	25—30 m (He +)	
	Hebeisenschüttung	15—20 m (Si +)	
	Untere Hebeisenmergel	15—20 m (He)	
	Niveau des «Apenzeller Granites»	4—8 m (Si +)	

Abkürzungen: A Albis Bü Bürglen E Entlisberg Fa Falätsche He Hebeisenbäche
K Klemmeriboden Pf Pfannenstiel Rü Rüttschlibach Schn Schnabel Si Sihltal
Üe Üetliberg Wa Wassberg + und im ganzen Untersuchungsgebiet

Wir gelangen somit zu einer tektonisch-lithologischen Gliederung der Zürcher Molasse. Für eine Gliederung der OSM eignet sich die Molasse des Zürichseegebietes relativ gut. Sie liegt weder mitten im Hörnlichuttfächer mit seinen unzähligen Nagelfluhbänken, die dort nach H. TANNER (1944) bis zu 95 % am Molasseprofil beteiligt sind, noch zu nahe am NW-Rand des OSM-Troges mit seinen stark reduzierten Serien. Zudem sind uns am Üetliberg die stratigraphisch höchsten Schichten der OSM erhalten geblieben. Wir sind uns aber durchaus bewusst, dass es sich um eine Gliederung der OSM handelt, die vor allem für den Westen und W-Rand des Hörnlichuttfächers gelten dürfte, auch wenn die Beziehungen zur OSM der Ostschweiz und des Bodenseegebietes eindeutig hergestellt werden konnten (N. PAVONI, 1956a). Man vergleiche dazu die Ausführungen S. 266 ff.

J. Die Mächtigkeitsverhältnisse in der Zürcher Molasse

Wir haben bereits in der vorstehenden Tabelle über die stratigraphische Gliederung der Zürcher Molasse auf die verschiedenen Mächtigkeiten hingewiesen. Man vergleiche auch die beiden stratigraphisch-lithologischen Profile durch Pfannenstiel-Zürichberg und Albis-Üetliberg.

Die Mächtigkeit der Zürcher Molasse nimmt gegen die subalpine Molasse hin allgemein zu. Wie man sich diese Mächtigkeitszunahme vorzustellen hat, haben wir bei der Beschreibung der synsedimentären Vorgänge zur Zeit der Ablagerung der Zürcher Molasse eingehend ausgeführt (s. S. 291). Wenn man die Mächtigkeitszunahme im Zürichseeraum quer zur Trogachse betrachtet, so lassen sich drei Abteilungen der OSM erkennen:

3. die obere Abteilung der OSM, umfassend die Pfannenstiel-Schichten und Üetliberg-Schichten.

2. die mittlere Abteilung der OSM, umfassend die Meilener Schichten und die Zürich-Schichten.

1. die untere Abteilung der OSM, umfassend die Schichten zwischen OMM und Meilener Kalk (bzw. «Appenzeller Granit»¹⁴).

Die untere Abteilung ist gekennzeichnet durch eine relativ starke Zunahme der Mächtigkeit gegen die subalpine Molasse hin. Der Meilener Kalk liegt im NW der Üetlibergmulde, d. h. gegen den Jura hin, nur 50—100 m gegen die subalpine Molasse hin aber 450—500 m über der OMM. Die Absenkungsvorgänge haben irgendwo im Zürichseeraum stattgefunden.

Die mittlere Abteilung zeichnet sich durch auffallend konstante Mächtigkeit im ganzen Zürichseeraum aus. Die Knickzonen lagen im NW der Üetliberg-Synklinale, am NW-Rand des Troges der OSM. Im

¹⁴) Eingehendere Untersuchungen der Schichten zwischen Niveau des «Appenzeller Granites» und der OMM fehlen vorläufig. Um eine Beziehung auch für diese Schichten zu haben, könnte man sie wenigstens vorläufig als Kempraten-Schichten bezeichnen, benannt nach Kempraten zwischen Feldbach und Rapperswil, wo diese Molasseserie durchzieht.

Bereich der Üetlibergmulde scheint die Mächtigkeit der Serie zwischen Meilener Kalk und limnischem Leitniveau sogar eher noch leicht zuzunehmen.

Nach Ablagerung der Zürich-Schichten werden die Absenkungen im Zürichseeraum wieder stärker, am stärksten sind sie ausgeprägt in den mittleren Pfannenstiel-Schichten. Wie sich die Verhältnisse zur Zeit der Ablagerung der Üetliberg-Schichten gestaltet haben, ist sehr schwierig zu sagen, da die oberen Schichten am Üetliberg einen zu kleinen Erosionsrest darstellen. Vermutlich erfolgte die Absenkung leicht antithetisch, irgendwo im NW der Üetlibergmulde.

Über die Veränderungen der Mächtigkeitsverhältnisse längs der Trogachse konnten ebenfalls einige Anhaltspunkte gewonnen werden, die allerdings keine allzu weitgehenden Schlüsse erlauben, da unser Untersuchungsgebiet nur einen relativ schmalen Bereich des Molassetroges umfasst. Sämtliche Vergleiche zeigen, dass W und E des Zürichsees in den Meilener und Zürich-Schichten kaum eine Veränderung der Schichtmächtigkeiten besteht. Auf jeden Fall werden in der mittleren Abteilung der OSM die Schichtmächtigkeiten in westlicher Richtung nicht geringer. In der oberen Abteilung der OSM scheinen sich Albisscholle und Pfannenstielscholle nicht immer gleichzeitig und gleich stark abgesenkt zu haben. Doch wurden solche Differenzen von etwa 10—30 m in den späteren Immersionsphasen jeweils wieder ausgeglichen.

K. Stratigraphischer Vergleich der Zürcher Molasse mit der OSM der Ostschweiz

Nachdem wir nun den stratigraphischen Aufbau der Zürcher Molasse in seinen wesentlichen Zügen kennengelernt haben, können wir den Versuch wagen, die stratigraphische Stellung der Zürcher Molasse mit derjenigen der OSM der Ostschweiz zu vergleichen. Die Molasse der Ostschweiz, insbesondere der Umgebung von St. Gallen ist seit langer Zeit recht gut erforscht, z. T. klassisches Molassegebiet. Das nördliche Bodenseegebiet und der Hegau haben durch ihre zahlreichen vulkanischen Erscheinungen und die weltberühmten Fundstätten von Oehningen schon früh das Interesse der Geologen geweckt. Schon vor langer Zeit wurden in diesem Gebiet auch zahlreiche Verwerfungen festgestellt (F. SCHALCH, 1883; W. SCHMIDLE, 1911, 1918 u. a.). Durch die sorgfältigen Untersuchungen von F. HOFMANN (1951, 1955, a, 1955b) ist nun auch die st. gallisch-thurgauische OSM im Detail bekanntgeworden.

Es ist das Niveau des «Appenzeller Granites», welches wir in der Zürcher Molasse auf weite Erstreckungen verfolgen konnten, das uns innerhalb der OSM die feste Grundlage für einen Vergleich liefert. Am besten lässt sich die Stratigraphie der Zürcher Molasse mit den Verhältnissen am Nollen im st. gallischen Fürstenland vergleichen (F. HOFMANN, 1951). Mit dem einzigartigen Horizont des «Appenzeller Granites» als Grundlage konnte die Ophiolith-Nagelfluh vom Sihlzipf in der Zürcher Molasse als identisch mit

der Ophiolith-Nagelfluh am Nollen erkannt werden: Die Ophiolith-Nagelfluh von Uetikon hingegen kommt für einen solchen Vergleich nicht in Frage, da sie unter dem Niveau des «Appenzeller Granites» liegt. Die Ophiolith-Nagelfluh vom Albispass liegt am Albispass rund 300 m über dem Niveau des «Appenzeller Granites», somit wesentlich höher als die Ophiolith-Nagelfluh am Nollen, die nach F. HOFMANN (1951) 160—170 m über dem Niveau des «Appenzeller Granites» liegt. Somit kommt nur die Ophiolith-Nagelfluh vom Sihlzipf mit ihren 135—140 m über dem Niveau des «Appenzeller Granites» in Frage, welche in ihrer stratigraphischen Lage der Nollen-Nagelfluh ausserordentlich gut entspricht. Eine Differenz von 20—30 m darf ohne weiteres angenommen werden. Der Fund eines verkieselten Palmenstammstückes in einer Nagelfluhbank im Klaustobel als einzigem Horizont mit verkieseltem Schwemholz (s. S. 179), stratigraphisch 20—30 m unter dem Ophiolithhorizont vom Sihlzipf, ergibt eine weitere verblüffende Übereinstimmung mit den Verhältnissen im Nollengebiet. Durch die Entdeckung des Bentonithorizontes im Küsnachter Tobel wurden diese Zusammenhänge auch noch weiter in schönster Weise bestätigt (N. PAVONI, 1956a). Der Küsnachter Bentonit liegt stratigraphisch 100 m über dem Meilener Kalk, 30 m unter dem Ophiolithhorizont vom Sihlzipf. In der Ostschweiz liegt der vulkanische Tuffhorizont nach den Angaben von H. HOFMANN (1951) stratigraphisch 130 m über dem Niveau des «Appenzeller Granites» und 40 m unter der Ophiolith-Nagelfluh. Damit ist der stratigraphische Zusammenhang zwischen Zürcher Molasse und OSM der Ostschweiz eindeutig festgelegt und zugleich auch die Identität des Küsnachter Bentonites mit dem vulkanischen Tuffhorizont von Bischofszell und dem Bentonithorizont im Gebiet zwischen Reppisch und Reuss (U. BÜCHI, 1956) auf stratigraphischem Wege bewiesen. Damit gehört der Küsnachter Bentonit tatsächlich zu einem vulkanischen Tuffniveau, das in der OSM der Ostschweiz und auch des Hegaus und im östlichen Bodenseegebiet (F. HOFMANN, 1956, s. Anm. 15, S. 268) eine ausserordentlich weite Ausdehnung besitzt und als auffallender Leithorizont dort eine grosse Rolle spielt.

Obwohl dieser an sich eindeutige Zusammenhang zwischen Zürcher Molasse und OSM der Ostschweiz besteht, können wir doch die Stufenbezeichnungen der süddeutschen Geologen, die zwar F. HOFMANN (1951, 1955a, 1955b) auch für sein Untersuchungsgebiet übernimmt, aus verschiedenen Gründen für die Zürcher Molasse nicht anwenden:

1. Man kann nicht von einer «Glimmersandstufe» (Steinbalmensandstufe) sprechen. Man kann auch nicht sagen, dass diese Stufe in der Zürcher Molasse fehle. Tatsächlich finden wir Glimmersande in weitausgedehnten Niveaus überall in beliebigen stratigraphischen Höhen der OSM. So besteht die oberste Molasseserie am Üetlibergkulk aus Glimmersanden von mehr als 10 m Mächtigkeit, die zwischen den beiden obersten Nagelfluhbänken eingelagert sind. Der Glimmersandsteinhorizont der Manegg liegt 140—150 m über dem Ophiolithhorizont vom Sihlzipf, somit annähernd 200 m stratigraphisch über der «Obergrenze der Glimmersandsteinstufe» wie sie F. HOFMANN (1955b) für den thurgauischen Seerücken angibt. Die Glimmersande

sind eben nicht auf eine bestimmte stratigraphische Stufe beschränkt (N. PAVONI, 1956a). Ebenso unzutreffend ist es, wenn man ihre Verbreitung auf ein Gebiet N der Linie Lägern-Konstanz beschränken will (F. HOFMANN, 1955b, S. 107). Die Glimmersande kamen in Gebieten mit ruhiger limnischer Sedimentation eher am äusseren Rande des Hörnlifächers zur Ablagerung (vgl. S. 151).

2. Man kann in der Zürcher Molasse auch nicht von einer «Konglomeratstufe» im Sinne der ostschweizerischen Geologen sprechen, denn sie fällt in der Zürcher Molasse nicht als besondere schüttungsintensive Zone auf. Wenn man in der Zürcher Molasse von einer «Konglomeratstufe» sprechen wollte, dann bei den Pfannenstiel-Schichten oder den Üetliberg-Schichten, die aber beide stratigraphisch viel höher als die Konglomeratschüttungen der Ostschweiz liegen. Der «Konglomeratstufe» in der Ostschweiz entsprechen in der Zürcher Molasse vielmehr die Sihlzipfzone und die Rütshlibachzone. Wir finden in diesen beiden Zonen wohl mehrere sehr weit durchziehende Knauersandsteinbänke, Konglomerate aber treten nur sehr untergeordnet auf: Sihlzipf-Nagelfluh in der Sihlzipfzone und Hermen-Nagelfluh zwischen mittlerer und oberer Rütshlibachzone. Die Lithologie ist somit eine durchschnittlich normale.

3. Die Sedimentationsverhältnisse sind im Hegau-Unterseeraum wesentlich andere gewesen als im Bereich der Hörnlischüttung. Bereits F. HOFMANN (1951) hat nur mit einiger Mühe sein Schichtprofil den süddeutschen Stufenbezeichnungen angepasst. Für die Zürcher Molasse, die gänzlich ausserhalb des Bereiches des Bodenseeraumes und wohl auch der E-W-Schüttung des bayrisch-schwäbischen Molassebeckens, dafür direkter im Bereich der alpinen Schüttung liegt, sind darum auch die Sedimentationsverhältnisse durchaus verschiedene, so dass es keinen Sinn hat, die Stufenbezeichnungen auf die Zürcher Molasse anwenden zu wollen¹⁵).

Zum Schluss möchte ich noch kurz auf die 1956 erschienene Arbeit von U. BÜCHI über seine Untersuchungen in der Molasse zwischen Reppisch und Reuss eintreten. U. BÜCHI unterscheidet in seinen sechs Profilen drei Leitniveaus (A, B, C) und spricht auch an verschiedenen Stellen von einem Basissandstein der Konglomeratstufe.

Die in den Profilen von U. BÜCHI dargestellten Zusammenhänge muten, von der Zürcher Molasse aus gesehen, eher merkwürdig an, zeigen doch gerade die Schichten der Meilener und Zürcher Immersionsphasen, mit welchen wir es hier zu tun haben, auf weite Erstreckung erstaunlich gleichbleibende Mächtigkeiten. Nach U. BÜCHI aber müssten sehr beträchtliche Mächtigkeitsunterschiede auftreten: Von Leitniveau C bis Leitniveau B wären es im Profil bei Ober Reppischthal rund 75 m, im Profil Gunzenbühl nur 31 m, im Hedinger Tobel rund 60 m. Bei Profil 1 (Ober Reppischthal) nimmt U. BÜCHI den Basissandstein 3 m über dem Leitniveau A, das dort 3,5 m (?) mächtig wäre, an. Der Basissandstein läge hier 24 m über dem Bentonitniveau. Im Jonentobel wäre er nur rund 9 m, bzw. rund 12 m (5. Profil) über dem Bentonitniveau. Das Leitniveau A würde hier fehlen. Es darf weiter als fast sicher

¹⁵ Neuestens kommt auch F. HOFMANN (briefliche Mitteilung vom 26. März 1956) zur Ansicht, dass «die alte deutsche Stufenbezeichnung sich nicht aufrecht erhalten lasse». Die Glimmersande (sogenannte Steinbalmensande) und seine Hegaumergel (Haldenhofmergel) reichen von der OMM bis ins Pontien.

angenommen werden, dass der Basissandstein im Profil bei Ober Reppischthal nicht derselbe ist wie im Jonentobel. U. BÜCHI erwähnt ferner auf S. 22/23 einen Basissandstein 20 m über der Rotzone ob Albisrieden. Tatsächlich liegen hier zwei Knauersandsteine 10 und 20 m über dieser Rotzone. Die Rotzone von Albisrieden ist aber nicht identisch mit der Rotzone direkt unter dem Bentonitniveau (= Rotzone der Wulp), sondern sie liegt stratigraphisch rund 60 m unter dem Bentonitniveau. Von einem Basissandstein der Konglomeratstufe kann darum hier nicht die Rede sein, und es zeigt sich auch an diesem Beispiel, wie problematisch es ist, in der Zürcher Molasse von einem «Basissandstein der Konglomeratstufe» zu sprechen. Die Mergel der Rotzone von Albisrieden können daher nicht mit den unteren Oehningermergeln parallelisiert werden, wie U. BÜCHI annimmt, denn sie liegen stratigraphisch wesentlich tiefer (mittlere Hebeisenmergel). Mit dem Leitniveau C hat U. BÜCHI verschiedene Horizonte bezeichnet. Ausserdem hat U. BÜCHI sein Leitniveau C mit dem Kohlenflöz von Riedhof im oberen Reppischthal parallelisiert. Riedhof ist aber identisch mit dem limnischen Leitniveau, welches über dem Bentonithorizont liegt. Sein Leitniveau C liegt aber stratigraphisch beträchtlich, im Profil bei Ober Reppischthal 75 m unter dem limnischen Leitniveau.

Auf Grund dieser Unstimmigkeiten ist es uns nicht möglich, auf einen stratigraphischen Vergleich mit den Profilen von U. BÜCHI und auf eine eingehendere Diskussion über seine Anwendung der süddeutschen Stufenbezeichnungen in der Molasse zwischen Reppisch und Reuss einzutreten.

IV. Die Tektonik der Zürcher Molasse

In der flachgelagerten monotonen Zürcher Molasse hat man lange Zeit ausserordentlich simple tektonische Verhältnisse angenommen. A. GUTZWILLER (1877) gibt noch vollständig horizontale Lagerung an. J. KAUFMANN (1872) beschreibt bereits das Südfallen der Schichten bei Sihlbrugg. Durch die Rücksenkungstheorie A. AEPPLI's (1894) und ALB. HEIM's (1894, 1919) wird die «Alpenrandflexur» aktuell, aber die Angaben über die Verbiegungen der Molasse in diesem Gebiet sind ausserordentlich willkürlich und auf die Theorie zugeschnitten. Für das nördliche Albisgebiet bestand lange Zeit nur eine, immer wieder zitierte Angabe von A. WETTSTEIN (1885) über das Schichtfallen der Molasse: 2,6 % nach N. Einzig die Erforschung der Kohlenvorkommen in unserem Gebiet, insbesondere des Käpfbacher Kohlenlagers hat einige zuverlässige Werte über das Schichtfallen geliefert (E. LETSCH, 1899, A. VON MOOS, 1946, 1947). Schon 1710 berichtete J. J. SCHEUCHZER vom Käpfbacher Kohlenlager, dass es «bogenweise durch den Berg gehe», was wohl heissen will, dass die Schichten nicht einfach ungestört verlaufen. Durch die erweiterten Untersuchungen am Käpfbacher Flöz während des zweiten Weltkrieges konnte der Verlauf der Käpfbacher Antiklinale zwischen Sihltal und Zürichsee eindeutig festgelegt werden (A. VON MOOS, 1946).

Tatsächlich weist die Zürcher Molasse eine recht komplizierte Tektonik auf. Schon 1934 hat R. STAUB in seinem Werk über «Grundzüge und Probleme alpiner Morphologie» (S. 86) Brüche und Blattverschiebungen postuliert, als Folge und Fortsetzung tektonischer Vorgänge im Alpengebirge und in der subalpinen Molasse. Er hat solche Brüche erstmals auch schon im Gebiet des Zürichsees vermutet und als eigentliche Wegweiser für die Linth-Zürichseetalung be-

trachtet. In seiner tektonischen Karte Italiens verzeichnet er 1951 solche Brüche schon links und rechts des Zürichseetales, zwischen Pfannenstiel und Glattal oder am E-Abbruch der Lägernkette und bringt diese Zürichseebrüche über die Limmernbrüche und das Bergeller Massiv in Zusammenhang mit der grossen ostappenninischen Bruchzone zwischen Tarent und Rimini. Weitere Hinweise auf mächtige Bruchsysteme finden sich im zugehörigen Text (R. STAUB, 1951, S. 67—77). Auch in seinem «Bau der Glarneralpen» ging R. STAUB diesen Bruchsystemen weiter nach (R. STAUB, 1954, S. 180—181) und machte in diesem Zusammenhang auch auf die seismische Tätigkeit im unteren Zürichseebecken und seiner Umgebung aufmerksam.

Es ist mir im Laufe meiner Untersuchungen gelungen, in der Zürcher Molasse eine ganze Anzahl von Verwerfungen nachzuweisen, von denen die grösste, die «Albisverwerfung», die respektable Sprunghöhe von rund 150 m erreicht und damit der grossen «Randenverwerfung» im Hegau an Eindrücklichkeit kaum nachsteht. Eine detaillierte Tektonik der mittelländischen Molasse kann nur mit Hilfe von sicheren Leithorizonten erkannt werden, wie wir solche glücklicherweise zu finden in der Lage waren. Blosser Fall- und Streichmessungen sind im allgemeinen sehr fragwürdig.

Wenn wir den Schichtverlauf mehr im Detail untersuchen, so zeigt es sich, dass plötzliche Wechsel im Fallen der Schichten auftreten. Als Beispiel sei der Aufschluss im Feldbacher Tobel S Pkt. 433 genannt. 70 m S Pkt. 433 messen wir ein Einfallen von $5,5^\circ$ N, 50 m S Pkt. 433 ein solches von $3,5^\circ$ N, dann immer am selben Kalk SW Pkt. 433 in je etwa 10 m Abstand $5,7^\circ$ N, $1,5^\circ$ N, $2,5^\circ$ N und 1° N. Sehr häufig sind Verbiegungen in den Schichten, die direkt unter einer Nagelfluh- oder Knauersandsteinbank liegen, anzutreffen. Solche Verbiegungen sind auf die verschiedene Zusammendrückbarkeit der einzelnen Gesteinsarten, auf «differential compaction» zurückzuführen. Lokale Schichtverbiegungen in den steilen Tobelhängen werden zudem sehr häufig durch Hangrutschen hervorgerufen. Dazu kommt, dass die Aufschlüsse im allgemeinen klein und mit reichlichem Schutt ausgekleidet sind. Aus allen diesen Gründen sind eindeutige, gute, direkte Messungen von Streichen und Fallen in der Molasse sehr selten.

Sowohl im Detail wie im Grossen zeigt sich deutlich eine beträchtliche tektonische Beanspruchung der Zürcher Molasse. Unter den dadurch entstandenen tektonischen Detailformen sind zu nennen: Klüftung, Rutschharnische, lokale Verbiegungen, kleine Versetzungen von weniger als 1 m. Die tektonischen Regionalformen dagegen umfassen: Antiklinalen, Synklinalen, grössere Verwerfungen und Flexuren, endlich auch horizontale Versetzungen von mehreren Metern im Sinne von kleinen Transversalverschiebungen.

A. Tektonische Detailformen

1. Die Klüftung

Klüftung ist in der Zürcher Molasse ein weitverbreitetes Phänomen. Sandsteine, seltener Nagelfluhen und Mergel erscheinen entlang glatten Flächen

wie zerschnitten. Die meist vollständig ebenen Kluffflächen stehen in den Sandsteinen stets steil, fast senkrecht auf der Schichtfläche. In den Mergeln verlaufen die Kluffflächen schief, manchmal fast flach, lösen sich auf in eine ganze Schar unter sich mehr oder weniger paralleler Zerrüttungsflächen und können sich so ganz verlieren. Meist aber nur scheinbar, denn in tieferen oder höheren Sandsteinbänken kann dieselbe Kluft wieder sehr scharf ausgebildet sein. Sie ist aber gegenüber der ersten Bank horizontal um einen gewissen Betrag versetzt.

In vielen Fällen verlaufen Klüftung und Tal in genau gleicher Richtung. So ist die Hauptklüftung im unteren Zürichseetal und im untersten Sihltal parallel zur Achse des Zürichsees. Zwischen Meilen und Horgen, wo der See in NW-SE-Richtung abgewinkelt ist, beobachten wir, z. B. im Meilener Tobel oder im Beugentobel, eine sehr starke Klüftung in eben derselben Richtung. Die Übereinstimmung ist so erstaunlich, dass man sich fragen muss, ob nicht die Klüftung durch den Talverlauf und seitliche Ausweichbewegungen der Gehänge bedingt sei. Dies ist, wie wir im folgenden zeigen werden, nicht der Fall. Die Täler verlaufen im Untersuchungsgebiet parallel zur Klüftung. Eine Entstehung der Klüfte bloss durch Diagenese, wie H. TANNER (1944) dies postuliert, erscheint recht fraglich. Aus sehr zahlreichen Messungen geht hervor, dass es in der Zürcher Molasse bestimmte bevorzugte Klüftungsrichtungen gibt, und dass es Stellen gibt, wo diese Klüftung häufiger auftritt als anderswo. Die Klüftung zeigt nämlich eine ganz erstaunliche Konstanz in ihrem Verlauf. Sozusagen alle Messungen lassen sich in drei Hauptklüftungsrichtungen einordnen:

1. Klüftungsrichtung: Verlauf NNW-SSE, ist am stärksten ausgeprägt.
2. Klüftungsrichtung: Verlauf ENE-WSW, parallel zum subalpinen und alpinen Streichen.
3. Klüftungsrichtung: Verlauf NW-SE, am schwächsten ausgeprägt.

Diese Klüfte sind sicher tektonischer Natur. Sie kümmern sich nicht um Topographie und Gestein. Wir finden sie überall, sei es an den Talflanken oder irgendwo auf dem breiten Rücken des Pfannenstiels oder im flachen Gebiet der Glattalschwelle. Die heutigen Talabschnitte sind besonders der ersten und der dritten Klüftungsrichtung angepasst.

Ganz einmalig ist in dieser Hinsicht das Gebiet der Glattalschwelle und das Gebiet von Grüningen-Gossau-Mönchaltorf. Die Bachtobel, die Terrassenkanten, alle verlaufen sie parallel zur ersten Klüftung. In der Detailgestaltung dieser Landschaft hat der Gletscher stark mitgewirkt, indem er ganze Nagelfluh- und Knauersandsteinpakete, die durch die Klüftung vorgeschritten waren, abhob und wegtransportierte. Dabei entstanden zugleich die glatten Tobelwände, wie man sie in den Nagelfluhplatten im Gebiet von Grüningen findet. Andererseits wurde diese Richtung wieder massgebend für den Lauf des Eises und damit für die Ablagerungsform und Richtung der Drumlins. Die enge Beziehung zwischen Klüftung und Morphologie in diesem Gebiet werden wir in einer besonderen Arbeit über die Morphologie des Zürichseetales und seiner Umgebung näher darlegen.

Kaum je lässt sich eine auch noch so geringe Verstellung an den glatten Kluffflächen beobachten, es sei denn wirklich durch nachträgliches, durchaus sekundäres Absacken der Gesteine an den Hängen, zu dem die Klüfte natürlich in

ganz besonderer Weise Anlass geben. Anlässlich der Verbreiterung der Sihlthalstrasse bei Station Sihlbrugg konnten bis dezimeterbreite, klaffende, mit Lehm und Wasser gefüllte Klüfte gesehen werden.

Unserer Auffassung nach ist das Kluftnetz in der Zürcher Molasse, wie die meisten Kluftsysteme überhaupt, auf eine grossradige Torsion und Zerrung, in diesem Fall des gesamten Molasseplateaus, wahrscheinlich während seiner allgemeinen Hebung, zurückzuführen. Diese Torsion gehört ohne Zweifel zu den jüngsten tektonischen Erscheinungen im schweizerischen Mittelland. Sie hat in gleicher Weise auch die subalpine Molasse und das Helvetische Deckenland ergriffen. C. SCHINDLER (1958) hat am Glärnisch und im Linthtal die gleichen Hauptkluftsysteme gefunden, wie wir sie in der Zürcher Molasse schon festgestellt haben (mündliche Mitteilung). Intensive Klüftung, die schon eher einer eigentlichen Zerrüttung der Gesteine entspricht, finden wir in der Nähe grösserer tektonischer Störungen.

Als Beispiele seien genannt: Entlisbergkopf, im Bereich der Albisverwerfung, Mergel und Sandsteine von zahllosen Kluftflächen zerschnitten; zerhacktes Nordende des Langenberges im Sihlthal, im Bereich der Langenberg-Flexur und der Albisverwerfung; ausserordentlich starke N-S-Klüftung der Molasseschichten im Talbach NW Dorf Sihlbrugg, im Bereich der Albisverwerfung; starke Störungen im Gebiete der synklinalen Umbiegung im Gebiet vom «Schiffli» S Dorf Sihlbrugg; Klüftung und Zerrüttung im rechten Seitentobel des Erlenbacher Tobels, im Bereich der Erlenbacher Flexur; sehr starke Klüftung und damit verbundene Absackung im Knauer Sandstein Kote 660 m ob Ausser Vollikon W Esslingen.

2. Lokale Verbiegungen tektonischer Natur

Bereits oben haben wir gesehen, wie unregelmässig im Detail die Schichten einfallen können. Doch deuten solche Verbiegungen, wenn sie wirklich tektonischer Natur sind, eher auf gewisse, wenn auch z. T. ganz leichte Störungszonen hin. Im grossen gesehen fallen die Schichten im allgemeinen ausserordentlich gleichmässig ein, wie z. B. die zahlreichen Anrisse der Sihl zwischen Station Sihlbrugg und Langnau oder die Molasseterrassen am Zürichseegehänge zeigen.

Lokale Verbiegungen mit Aufwölbungen von $\frac{1}{2}$ bis 2 m auf wenige zehn Meter trifft man im Wehrenbachtobel Kote 450—500 m. Auch im benachbarten Stöckentobel sind von Kote 450—500 m auffällige kleine Verbiegungen, eigentliche Pressungserscheinungen zu beobachten. Sie liegen im Bereich der Wehrenbachstörung. Kräftigere Verbiegungen im Betrag von mehreren Metern beobachtet man im Sagentobel auf Kote 550—560 m (S Fortsetzung der Zürichbergstörung). Ebenso stiess ich am Esslingerberg im Tobel S Wolfenriedt Kote 535—540 m auf eine starke, eigenartige Verbiegung der Molasseschichten. Hier sind die Sandsteine ebenfalls sehr stark geklüftet (Klüftung = N 23° W). Wir befinden uns hier im tektonisch gestörten Gebiet von Egg-Esslingen. Gewisse Verbiegungen, wie man sie in einzelnen Schichten gutgeschichteter Mergel- und Mergelsandsteinserien, z. B. an der Wulp oder im Aabachtobel bei Horgen, findet, sind auf Setzungserscheinungen zurückzuführen.

3. Lokale Versetzungen

Vertikale Versetzungen an Klüften sind sehr selten. Im Risitobel ist die 3 m mächtige Nagelfluhbank auf Kote 530 m entlang der Klüftung um $\frac{1}{2}$ m versetzt. Ebenso konnten leichte Versetzungen, die nicht als Absackungen gedeutet werden können, da die Verschiebung gerade im gegenteiligen Sinne einer Absackung erfolgte, in der Kiesgrube 200 m N Pkt. 622,4 beobachtet werden. An der Seehalde W Meilen erscheint der Knauersandstein unter Pkt. 454,4 wie zerhackt und die einzelnen Schollen seewärts gegeneinander leicht abgekippt (Gletscherwirkung?).

4. Rutschharnische

Trotz der häufigen Klüftung sind Rutschharnische eine ausserordentlich seltene Erscheinung. In den Knauersandsteinen und Mergeln kam es nicht zur Ausbildung von Kalzitharnischen. Die gewöhnlichen Molassegesteine scheinen dafür zu wenig kalkreich gewesen zu sein. Prachtvolle Kalzitharnische fand ich im Meilener Kalk bei Meilen (Mühle) und in der Hüllisteiner Nagelfluh am Hüllistein. In beiden Fällen verliefen die Rutschstreifen mehr oder weniger horizontal mit höchstens 10° Abweichung von der Horizontalen am Hüllistein (s. Abb. 6, S. 231). Die horizontalen Bewegungen waren am kräftigsten in Richtung des NNW-SSE-Klüftungssystems. Andere Harnische zeigen, dass zugleich ungefähr senkrecht zu dieser Richtung ebenfalls horizontale Ausweichbewegungen der einzelnen Schollen stattgefunden haben.

Einzig in der sowohl tektonisch wie petrographisch so ausserordentlich interessanten Synklinalzone S Schiffli (S Dorf Sihlbrugg) habe ich in den Mergeln über der mächtigen Nagelfluhbank am linken Ufer auf Kote 575 m (N Pkt. 603) Kalzitharnische gefunden. Die Mergel sind gespickt voll davon. Sie bilden den Quellhorizont unter den mächtigen verschwemmten Quartärablagerungen der Sennweid, und es stellt sich die Frage, ob nicht der Kalzit sekundär ausgeschieden worden sei. Die Mergel zeigen ja, wie wir gesehen haben, auch eine Klüftung, in der in unserem Falle der Kalzit ausgeschieden worden wäre.

Auch wenn die Mergel sonst nie Kalzitharnische zeigen, so konnten an glatten, glänzenden, frischen Klüftflächen doch hie und da eindeutig horizontale Bewegungen festgestellt werden. Horizontale Bewegungen haben in der Zürcher Molasse nachgewiesenermassen eine bedeutende Rolle gespielt.

B. Antiklinalen und Synklinalen

Bisher haben wir die tektonischen Kleinformen besprochen wie wir sie bei einer Begehung überall antreffen können. Bei der nun folgenden Besprechung der eigentlichen Tektonik der Zürcher Molasse wollen wir so vorgehen, dass wir ebenfalls diejenigen Formen zuerst betrachten, die einem im Terrain zuerst auffallen, die Schichtlagerung und die Faltung. In Abschnitt III E haben

wir die Geologie unseres Untersuchungsgebietes besprochen. Dort ist auch kurz das Wesentliche über die direkt beobachtbaren Schichtneigungen bereits erwähnt worden. Wir wollen darum hier mehr zusammenfassend die tektonischen Verhältnisse betrachten. Für alle Details sei auf die tektonische Karte verwiesen. Die Karte (s. Tafel I) ist eine Isohypsenkarte auf dem limnischen Leitniveau der Zürcher Molasse mit einer Äquidistanz von 10 m. Dort, wo keine Punkte des limnischen Leitniveaus zur Verfügung standen, im Gebiet von Sihlbrugg, Meilen, Männedorf, Grüningen, wurde die Lage des Niveaus interpoliert mit Hilfe des Horizontes des Meilener Kalkes (Niveau des «Appenzeller Granites»), welcher 145 m tiefer liegt.

Auf Antiklinalen und Synklinalen in der Zürcher Molasse, bzw. der mittelländischen Molasse überhaupt hat vor Jahren R. STAUB (1934a, 1938) hingewiesen. 1934 und wieder 1938 erschien ihm ein Grossgewölbe zwischen Albiskette und Tößstock auch aus eigenen Beobachtungen als durchaus erwiesen. Desgleichen deutet R. STAUB die südlich daran angeschlossene sogenannte «Randabsenkung» als eine Synklinale. Diesen Angaben wurde aber lange wenig Beachtung geschenkt. Sie bilden aber doch den Anfang zu einer eigenen tektonischen Anschauung der mittelländischen Molasse. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass solche grossartige Verbiegungen in der Zürcher Molasse tatsächlich vorhanden sind, wenn auch z. T. in etwas anderen Formen.

1. Die Üetliberg-Synklinale

Am Üetliberg bis ins Gebiet S der Falätsche sind die Molasseschichten ausserordentlich flach gelagert. Das limnische Leitniveau zeigt quer zur Synklinalachse auf einer Breite von 3,5 km einen Höhenunterschied von kaum 10 m. Am Fusse des Berges liegt die tiefste Stelle im Bereiche des Rütshlibaches. Ein kaum feststellbares schwaches Achsengefälle von wenigen Promillen nach WSW scheint vorhanden zu sein. Wegen der primären, leichten Sedimentationsdiskordanzen liegt für die höchsten Molasseschichten die synklinale Umbiegung weiter im N, irgendwo unter dem Üetliberg, genau kann sie nicht festgelegt werden. Wir dürfen daher die breite Mulde nach dem markanten Üetliberg benennen wie A. von Moos (1946) dies vorgeschlagen hat (Üetliberg-Schauenberg-Synklinale A. von Moos'), obwohl das Muldentiefste in den unteren Molasseschichten etwas mehr als 2 km weiter im S liegt. Weiter gegen NNW, am Hohenstein und bei Landikon, beginnt bereits der allgemeine Anstieg der Schichten der subjurassischen Zone, der im Gebiete der Waldegg etwa 2,5 bis 4 % nach NNW beträgt. Im Nordteil des Buchhoger liegen die Schichten wieder flach. Die Schichten zeigen im N-Schenkel der Üetliberg-Synklinale überall wiederum das einheitliche WSW-ENE-Streichen, wie wir es bereits im S-Schenkel kennengelernt haben, so am Dietiker Hohnert, im Gebiet des unteren Reppischtals, am Buchhoger, am Käferberg, im Glattal N Seebach und am Zürichberg. Diese Einheitlichkeit dürfte ursprünglich auf synsedimentären Absenkungszonen parallel zur Trogachse beruhen. Für die OSM über dem Niveau des «Appenzeller Granites» bildet die breite

Üetliberg-Synklinale die zentrale Mulde des Molassebeckens. Für die tieferen Schichten wäre es sehr wohl möglich, dass infolge der Mächtigkeitszunahme in der unteren OSM, die Trogmulde ebenfalls primär, d. h. synsedimentär bedingt, weiter im S liegt. Jenseits des Zürichsees findet die Üetliberg-Synklinale ihre Fortsetzung in der Hottingermulde. Hottingen und der ganze Adlisberg liegen in einer breiten, flachen Mulde drin. Das Achsengefälle von 1—2 % nach WSW lässt sich auch im Sagentobel beobachten. Auf der Glattalseite ist die Hottingermulde unvermittelt scharf abgeschnitten.

2. Die Käpfnach-Grüninger-Antiklinale

Von Zürich bis zu einer Linie Albisbrunn-Station Sihlbrugg-Unter Ort-Männedorf-Grünigen, d. h. bis zum Scheitel der Käpfnach-Grüninger-Antiklinale, zeigen die Molasseschichten am Pfannenstiel, im Gebiet der Herrliberger Scholle, am Greifensee einen kaum merklichen, manchmal aber doch deutlich zu erkennenden Anstieg nach SSE, wie z. B. die Anrisse im Sihltal oder am Albis zeigen. Im Mittel fallen hier die Schichten mit 1,5—2 % nach N bis NNW ein. Im näheren Bereich der Antiklinale zeigt sich ein verstärkter Anstieg, 5,5—6,5 %, der dann im Gebiet der obengenannten Orte in die ausserordentlich flache antiklinale Umbiegung überleitet. Der N-Schenkel der Käpfnach-Grüninger-Antiklinale umfasst somit, wenigstens in der OSM, das ganze Molassegebiet bis nach Zürich hinein. Es ergibt sich für den N-Schenkel die beträchtliche Breite von 11—12 km. Der N-Abfall ist, wie erwähnt, sehr flach. Wie sich die Verhältnisse nach der Tiefe hin gestalten, kann nicht sicher gesagt werden. Der Höhenunterschied zwischen Käpfnach-Grüninger-Antiklinale und Üetliberg-Synklinale beträgt am Albis im limnischen Leitniveau etwas mehr als 300 m, am Zimmerberg und am Pfannenstiel-Zürichberg etwa 200 m. Man vergleiche Anmerkung 18, S. 287.

Der S-Schenkel ist im Gebiet von Wädenswil etwa 2,5—2,7 km, im Gebiet von Hombrechtikon-Grünigen etwa 3—3,3 km breit. Im Gebiet von Sihlbrugg gestalten sich die Verhältnisse komplizierter. Tatsächlich biegen die Schichten bei Schiffli S Dorf Sihlbrugg wieder in flache Lagerung um. Der S-Schenkel wäre hier somit rund 3,2 km breit. Aus dem Gesagten ergibt sich, dass der S-Schenkel der Käpfnach-Grüninger-Antiklinale wesentlich kürzer ist als der N-Schenkel. Er ist aber steiler, fallen doch die Schichten am Risiboden-Hombrechtikon mit 8—10 % nach SE ein. Im Gebiet von Wädenswil messen wir ähnliche Fallwerte, dagegen versteilt sich der S-Schenkel beträchtlich, wenn wir weiter nach Westen kommen. Am Sihlzopf fallen die Schichten mit 20 % nach SSE ein. Am Lissibach im Deinikonewald mass ich Fallwerte von 13,5—14° (25 %, Streichen N 72—75° E) nach SSE.

Die Käpfnach-Grüninger-Antiklinale ist eine asymmetrische Antiklinale. Der Höhenunterschied der Schichten von der Antiklinale bis zur Wädenswiler Synklinale beträgt im Gebiet der Glattalschwelle (Hombrechtikon-Grünigen) 175 m, am rechten Zürichseeufer 170 m und bei Wädenswil nur etwa 130 m. Bei

Dorf Sihlbrugg beträgt die Absenkung im Bereich der Zimmerbergscholle, d. h. östlich der Albisverwerfung, etwa 280 m. Im Bereich der Albisscholle dürften es sogar mehr als 400 m sein. Die stärkere Absenkung im W ist bedingt durch eine Vertiefung der Wädenswiler Synklinale wohl unter dem Einfluss der Schubwirkung der Hohrone-Scholle¹⁶⁾. Die beträchtliche Vertiefung ist, z. T. wenigstens, auf ein verstärktes SW-Achsengefälle zurückzuführen wie es bei Schiffl im Sihltal tatsächlich beobachtet werden kann. Das Achsengefälle beträgt hier etwa 4 %, ob aber die gesamte Vertiefung nur durch ein steileres Achsengefälle bedingt ist oder ob nicht zugleich die Versenkung stufenweise in einzelnen nach SW sukzessive stärker abgekippten Schollen erfolgt ist, kann nicht sicher entschieden werden.

Die Antiklinale zeigt in unserm Untersuchungsgebiet keine nennenswerten Kulminationen oder Depressionen. Sie ist in ihrem Verlauf und in ihrem Streichen ausserordentlich konstant, genau parallel zum Streichen der subalpinen Molasse. Man hat unbedingt den Eindruck, dass sie ursprünglich, wenigstens in unserem Untersuchungsgebiet, ungestört geradlinig verlief und erst später entlang Brüchen versetzt und verhackt worden ist (s. Abb. 9, S. 283). Damit erhalten wir zugleich wertvolle Anhaltspunkte für das relative Alter der verschiedenen tektonischen Bewegungen (s. S. 298). Die Antiklinale zeigt zwischen Sihltal und Zürichsee ein leichtes Achsengefälle von 4—5 % nach E. Dieses selbe Achsengefälle konnte auch im Kohlenlager von Käpfnach festgestellt werden, so dass im Raum zwischen Zürichsee und Sihltal keine grösseren Brüche die Antiklinale queren dürften (vgl. A. von Moos, 1946, 1947). Auf der andern Seeseite ist bis ins Gebiet von Grüningen ebenfalls ein ganz leichtes Achsengefälle nach E vorhanden. Im Gebiet von Grüningen-Itzikon liegt das Niveau des «Appenzeller Granites» im Kulminationspunkt auf Kote 512 m, ob Männedorf auf 535 m, doch ist dieser Höhenunterschied zur Hauptsache durch leichte Störungen bedingt, welche die Antiklinale horizontal und vertikal versetzt haben. Dass der Antiklinalscheitel im Gebiet von Oetwil a. S. und Grüningen gegenüber seinem Verlauf im Gebiet von Männedorf um mehr als ½ km nach N versetzt ist, scheint durch ein leicht verschieden starkes Abbiegen der einzelnen Schollen bedingt zu sein. Im Zürichseeraum war die Absenkung stärker, das Abbiegen erfolgte brüsker, wodurch z. T. wenigstens der Antiklinalscheitel gegenüber dem Glattalgebiet nach S zurückversetzt erscheint. Weil die Umbiegung so flach ist, genügt eine relativ geringe gegenseitige vertikale Versetzung zweier Schollen im N-Schenkel von nur wenigen Metern, um eine horizontale Versetzung der Antiklinalachse von ein paar hundert Metern zu bewirken.

Noch weiter im E, im Gebiet von Hinwil-Kempton (Bachtel), liegt der Antiklinalscheitel wesentlich weiter im N (s. S. 233). Allerdings erfolgt auch der Anstieg der Schichten im S-Schenkel wesentlich flacher (tektonischer Stil der Nagelfluhmassen des Zürcher Oberlandes). Die Moränen- und Schottermassen

¹⁶⁾ Nach R. STAUB (1934a) ist die Einmuldung der Wädenswiler Synklinale überhaupt bedingt durch die Einwirkung des sich in diesem Abschnitt verstärkt heraushebenden und auch noch weiter vorschiebenden Aarmassivs.

zwischen Wetzikon und Uster liegen eindeutig in einer Senke, im tektonisch tiefsten Teil des noch zu besprechenden Glattalgrabens (s. S. 284).

3. Die Wädenswiler Synklinale

Sie verläuft als breite, flache Mulde von Wädenswil–Stäfa–Berlikon zum Egelsee (Synklinalsee) und lässt sich noch weiter nach ENE verfolgen. Aus der Strukturkurvenkarte ist deutlich ersichtlich, dass im Gebiet von Berlikon–Tobel–Langenriedt–Eichwies eine zusätzliche tektonische Einmuldung besteht. Dieses tektonische Becken ist die Ursache dafür, dass die Bäche, die sich im Gebiet von Eichwies in so auffallender Weise — vergleichbar den Nerven eines Ahornblattes — in die Landschaft eingeschnitten haben, gerade hier liegen. Von dieser zentralen Mulde von Eichwies aus steigt die Synklinalachse mit etwa 5‰ gegen den See hin an. Um etwa 1 km weiter nach NNW versetzt, wenn wir das allgemeine subalpine Streichen berücksichtigen, setzt sich die Synklinale im Gebiet von Wädenswil fort. Als breite Mulde — die Schichten verlaufen im Gebiet von Wädenswil auf fast 1 km quer zur Synklinalachse horizontal — zieht sie, unter den mächtigen Schotter- und Moränenmassen verhüllt, ins Gebiet von Schiffli S Dorf Sihlbrugg, wo wir beidseits der Sihl annähernd horizontale Schichtausbisse verfolgen können. Die Synklinale erscheint aber wesentlich komplizierter gebaut. Die Synklinalachse zeigt nämlich ein relativ starkes Gefälle von 4 % nach SW, während dasselbe im Gebiet von Wädenswil nur etwa 1 % beträgt. Wie die tektonischen Verhältnisse im Sihltal weiter SE von Schiffli sind, ist wegen der ungenügenden Aufschlüsse nur schwierig zu sagen. Auf jeden Fall erscheint der allgemeine Anstieg der Molasseschichten im S-Schenkel, wie beidseitig des Zürichsees so deutlich beobachtet werden kann, im Sihltal nicht eindeutig ausgeprägt. Irgendwie drückt sich darin bereits die eigenartige Abwinklung im Streichen aus, die die subalpine Molasse zwischen Zugersee und Sihltal erfährt.

C. Flexuren und Brüche

Das ursprüngliche, einfache Längsfaltungsbild ist in der Folge durch zahlreiche Brüche und Querbiegungen zerstückelt worden. Während die Schichtneigungen bei einer Begehung relativ rasch erkannt werden, sind Verwerfungen in unserem Gebiet nicht direkt sichtbar. Sie lassen sich nur mit Hilfe von detailstratigraphischen Aufnahmen eruieren. Beginnen wir mit unserer Beschreibung im NW unseres Untersuchungsgebietes.

1. Die Urdorfer Störung

Detailuntersuchungen, die ich im Frühjahr 1951 zwischen Egg und Urdorfer Hohnert im Auftrage von Dr. A. von Moos durchführte, und die Entdeckung des «Appenzeller Granites» am Dietiker Hohnert im Jahre 1952 führten mich zur Auffassung, dass die Schichten am Dietiker Hohnert und an der Egg gegen-

über dem Buchhoger-Üetliberg abgesenkt, beziehungsweise nach NNW versetzt sind. Im Urdorfer Tal muss eine Störung durchziehen, die sich nach Norden bis ins Limmattal fortsetzt: die Urdorfer Störung. Buchhoger und Üetliberg gehören somit zu einer höheren Scholle, der *Albisscholle* (Albis-horst). Das Vorkommen des Bentonithorizontes an der Jonen bei Jonental Kote 440 m, wo ihn U. BÜCHER (1956) entdeckt hat, ist uns eine willkommene Bestätigung dafür — obwohl wir mit den stratigraphischen Folgerungen U. BÜCHER's durchaus nicht einig gehen —, dass die Urdorfer Störung sich nach S fortsetzt und wie die Albisverwerfung nach S sogar noch weiter verstärkt. Gegenüber Riedhof, d. h. gegenüber Albis-Äugsterberg und Hediger Allmend, ist die Molasse im Jonentobel (zwischen Zwillikon und Jonen) um etwa 120 m tiefer versetzt. Das untere Reusstal liegt wie das Zürichseetal in einer tektonischen Senke, wahrscheinlich auch in einem tektonischen Graben.

2. Die Albisverwerfung

Es handelt sich um die weitaus grösste Verwerfung unseres Gebietes. Sie beginnt im N, im Gebiet von Zürich, zieht zwischen Entlisberg und Albis-Üetliberg durch (Sprunghöhe etwa 60 m) nach Adliswil, von hier zwischen Langenberg und Albis durch (Sprunghöhe etwa 100 m), dann weiter nach S durch den Sihlwald ins Gebiet von Sihlbrugg. Dort, wo sie den Scheitel der Käpfnach-Antiklinale quert, erreicht sie mit 150 m ihre grösste Sprunghöhe. Sie kann auf eine Länge von 15 km verfolgt werden. Von Zürich bis zum Langenberg verläuft sie NNWN-SSES. Im Gebiet südlich des Langenbergs erhält sie einen «Knick» und weicht etwas stärker von der meridionalen Richtung ab, biegt dann aber wieder in südliche Richtung um und quert so die Antiklinale. Ob sie die Wädenswiler Synklinale auch noch quert, kann nicht gesagt werden. Ihre nördliche Fortsetzung zielt östlich am Gubrist vorbei zum E-Ende der Lägern bei Dielsdorf, wo auch R. STAUB (1951) eine Bruchzone angenommen hat. Damit ist die tektonische Absenkung des Zürichseetales noch nicht vollständig.

3. Die Langenberg-Flexur

Gegenüber dem Langenberg ist der Kopf südöstlich Adliswil nochmals flexurartig um 25 m abgesenkt. Die Langenberg-Flexur verwandelt sich nach NW in einen Bruch, der nichts anderes ist als eine Abzweigung der Albisverwerfung.

4. Die Zimmerbergstörung

Die Zimmerbergscholle ist gegen den See hin nochmals zerbrochen; das geht aus der tiefen Lage der Schüeppenlochschüttung im Gebiet von Thalwil hervor (s. S. 214). Auch ist der N-Abfall der Molasseschichten im N-Schenkel der Käpfnach-Antiklinale im Zürichseetal wesentlich stärker als im Sihltal. Als andere Lösung könnte eine starke *A b k i p p u n g* der Zimmerbergscholle

zum See hin angenommen werden. Doch sprechen die deutlich ausgebildeten, N-fallenden Schichtflächen im Gebiet zwischen Horgen und Thalwil gegen eine solche Annahme.

Ob im westlichen Steilabfall des Seebeckens selbst nochmals eine Verwerfung durchzieht, ist nicht sicher. Auch ohne die Annahme einer Verwerfung im westlichen Zürichsee, beträgt die tektonische Absenkung des Zürichseeraumes gegenüber dem Albishorst im Gebiet von Thalwil-Oberrieden etwa 150 m. Wo die Zimmerbergverwerfung im S aufhört, übernimmt die Albisverwerfung deren Verwerfungsbetrag. Das Antiklinalgebiet erweist sich gegenüber den Verwerfungen als relativ stabile Zone.

5. Die östliche Zürichseeverwerfung

Im Gebiet zwischen Zürichseetal und Glattal ist es vor allem die starre Pfannenstielscholle, welche die Tektonik im Detail beeinflusst hat. Sowohl gegen das Zürichseetal wie gegen das Glattal ist sie seitlich durch Brüche und Flexuren begrenzt (s. auch R. STAUB, 1951). Wenn wir vom linken Seeufer kommend, die Schichtlagen am rechten Zürichseeufer vergleichen, so ergibt sich eindeutig, dass gegenüber den Aufschlüssen im Gebiet von Thalwil-Oberrieden dieselben Sandsteine, etwa im Gebiet der flachen Platte von Herrliberg-Erlenbach, um 40—50 m höher liegen. Im östlichen Teil des unteren Zürichsees, angedeutet durch den markanten unterseeischen Steilabfall, muss eine Störung in NNW-SSE-Richtung verlaufen, entlang welcher die Molasseschichten im W tektonisch um 40—50 m abgesenkt wurden, auf welche schon E. WANNER (1945) und R. STAUB (1951, 1954) als wahrscheinlich bestehend hingewiesen haben.

6. Die Erlenbacher Flexur

Die Herrliberger Platte ist ihrerseits gegenüber dem Pfannenstiel flexurartig um 40 m abgesenkt. Ich möchte diese prachtvolle NW-SE verlaufende Flexur die Erlenbacher Flexur nennen, da sie in den rechten Seitenbächen des Erlenbacher Tobels gut aufgeschlossen ist. Von Küsnacht her zieht sie mit erstaunlicher Regelmässigkeit immer mit einer Sprunghöhe von etwa 40 m über eine Länge von 9 km quer durch die leicht NNW fallenden Schichten bis ins Gebiet von Bergmeilen. Hier, im näheren Bereich der Grüninger Antiklinale verliert sie an Sprunghöhe und verwandelt sich wahrscheinlich zugleich in eine Verwerfung. Im Gebiet von Brand gewinnt der steilere N-Schenkel von der Herrliberger Platte herkommend rasch, d. h. mit 4—5 % an Höhe, während das S-Ende der Pfannenstielscholle flacher, nur mit 1—2 % ansteigt. Die Sprunghöhe wird immer kleiner und bei Ober Kreuzlen ist von der Störung nichts mehr zu bemerken. Bei Küsnacht wird die Erlenbacher Flexur von der östlichen Zürichseeverwerfung abgeschnitten.

Sehr kompliziert und unübersichtlich gestalten sich die Verhältnisse am Salster ob Zollikon. Hier liegt eine limnische Zone, die offensichtlich zum

limnischen Leitniveau gehört, auf 550 m Höhe. Andererseits liegt die Platte von Goldbach, wie die Aufschlüsse beim «Gugger» beweisen, um gut 20 m tiefer, mit normaler Streichrichtung. Man könnte nun diese Absenkung mit einer Flexur, ähnlich wie die Erlenbacher Flexur, oder dann mit einer Verwerfung erklären. Doch finden wir im Küssnacher Tobel unter der Wulp kein Anzeichen von einem flexurartigen Abbiegen der Schichten. Eigenartig ist allerdings, dass gerade dort, wo die Störung durchziehen müsste, die mächtigen Schotter liegen. Weiter bachaufwärts ist das limnische Leitniveau im NE der Schotterrinne auf Kote 540 m, somit in gleicher Höhe wie im SW der Schotterrinne an der Wulp, prachtvoll aufgeschlossen. Irgendwie scheint der Salster ein kleiner isolierter Horst zu sein, der im W wie im E von leichten Störungen begrenzt ist (Zerüttung der Molasse am Salstertobelbach). Die östlichen Störungen, entlang welchen das Gebiet von Witikon-Wassberg leicht abgesenkt ist, machen sich auch im unteren Teil des Wehrenbachtobels (Wehrenbachstörung) und des Stöckentobels bemerkbar. Gehört indessen die limnische Zone am Salster zur Doldertobelzone stratigraphisch 40 m über dem limnischen Leitniveau, was nicht sicher entschieden werden kann, weil das Vorkommen vollständig isoliert ist, dann gestalten sich die Verhältnisse wesentlich einfacher. Wir haben diese einfachere Interpretation für die tektonische Karte angenommen.

Betrachten wir die tektonischen Verhältnisse im unteren Zürichseeraum, so ergibt sich, dass im zentralen Teil die Schichten gegenüber dem Albis tektonisch um 150 m, gegenüber dem Pfannenstiel um etwa 90 m abgesenkt sind. Der untere Teil des Zürichseetales liegt in einem tektonischen Graben (Zürichtalgraben, s. S. 301).

7. Die zentrale Zürichseestörung

In seinem mittleren Abschnitt zwischen Meilen-Horgen und Stäfa-Wädenswil wird das Zürichseetal von der Käpfnach-Grüninger-Antiklinale gequert. Der tektonische Vergleich beider Seeseiten ergibt, dass mitten im Zürichsee die Antiklinale und die Synklinale eine beträchtliche Störung erfahren, soweit die theoretische Fortsetzung der tektonischen Verhältnisse der beiden Seeufer auf den See hinaus Schlüsse zu ziehen erlaubt. Man kann folgendes feststellen: Die Störung, sei sie nun gestaffelt oder einfach, hat die Antiklinale zerschnitten und den W-Teil gegenüber dem E-Teil um 30—40 m tiefer versetzt. Entlang dieser Störung ist der W-Teil, die Käpfbacher Antiklinale, gegenüber dem E-Teil, der Grüninger Antiklinale, um etwa $\frac{1}{2}$ km nach N vorgepresst worden. In noch stärkerem Masse scheint die Wädenswiler Synklinale gegenüber ihrer Fortsetzung auf dem E-Ufer nach N vorverlegt. Zugleich mit dieser Vorverlegung findet eine leichte Abwinkelung im Streichen statt. Zwischen Sihltal und Zürichsee streichen Antiklinale und S-Schenkel etwa $N 75^\circ E$, zwischen Zürichsee und Glattal einheitlich $N 67^\circ E$.

Wie gestalten sich nun die tektonischen Verhältnisse gegen das Glattal hin? Beginnen wir mit unserer Betrachtung im N.

8. Die Zürichbergstörung

Nördlich von Seebach steigt das Niveau des «Appenzeller Granites» aus der Tiefe empor. Der Anstieg ist beträchtlich, muss doch das Niveau bei Schwamendingen auf 330—340 m Höhe liegen. An der Käshalde N Köschenrüti liegt der Meilener Kalk bereits 480 m über Meer. Das Gefälle beträgt bei Seebach 4 % nach SSE. N Käshalden Pkt. 480,8 liegen die Schichten wieder flacher. Auch am Käferberg fallen die Schichten mit 4 % nach SSE. Im Gebiet von Oerlikon und Schwamendingen zeigen die Schichten nur noch ein sehr leichtes Gefälle nach S. Somit würden sich die Verhältnisse sehr einfach gestalten: Sehr flache Mulde unter dem Zürichberg und steilerer Anstieg im N-Schenkel im Gebiet Käferberg-Seebach, wenn nicht das schöne Molasseprofil im Tobel ob dem Resiweiher (Peterstobel) am nordwestlichen Zürichberg wäre. Dieses Profil steht wohl ganz allein für sich da, lässt sich aber ohne weiteres mit dem Sagentobelprofil vergleichen:

Brandtobel	Resiweiherstobel (Peterstobel)	Sagentobel
	Grober Sandstein Kote 640 m	Buschbergsandstein Kote 610—615 m
Sandstein Kote 586 m Im Liegenden glimmerreiche Mergel + weisse Mergel	Glimmermergel und glimmerreicher Sandstein Kote 620 bis 625 m. Im Liegenden glimmerreiche Mergel + kalkige, weisse Mergel	Glimmermergel und glimmerreicher Sandstein Kote 590—600 m
Weisse Kalkmergel mit ½ m bituminösen grünbraunen Mergeln im Hangenden, Kote 570 m	Weisser Knollenkalk bis kalkige Mergel Kote 605 m mit ½ m bituminösen grünbraunen Mergeln im Hangenden	Weisse Kalkmergel mit bituminösen grünbraunen Mergeln im Hangenden, Kote 560 m
Sandstein Kote 565 m Im Liegenden bunte Mergel	Sandsteinzone Kote 590—600 m	Sandsteinzone Kote 540—553 m
	Rote Mergel Kote 580 m	Rote Mergel Kote 538 m
	Rotzone vom Resiweiher Kote 570 m	Rote Mergel Kote 527 m

Auffällig ist die verschiedene Höhenlage der Schichten und es sei zudem auf die im Resiweiherstobelprofil zwischen Kalk und Buschbergsandstein eingetretene Reduktion der Sedimente von etwa 15 m hingewiesen. Die verschiedene Höhenlage veranlasst uns zur Annahme einer NW-SE verlaufenden Störung im NE-Hang des Zürichberges, ungefähr parallel zur 600 m-Höhenkurve. Der Zürichberg wäre somit eine höherliegende horstähnliche Scholle. Der Abschnitt Unterholz-Brand-Steingass wäre abgesunken. Für eine solche Störung spricht auch die Morphologie des östlichen Zürichberghanges und ganz besonders der Umstand, dass in ihrer südöstlichen Fortsetzung die Sandsteine im Sagentobel in komplexer Weise gestört sind. In ihrer nordwestlichen Fortsetzung würde die Störung im NE des Käferberges, etwa bei Affoltern bei Zürich

durchziehen. Damit erhalten wir einen weiteren Anhaltspunkt dafür, dass die auffällig geradlinige Abgrenzung der Molassezone Altberg–Gubrist–Käferberg–Zürichberg–Uster durch ähnliche NW–SE verlaufende Störungen bedingt ist, eine Richtung, die auch im oberen Limmattal eine wichtige Rolle spielt, die ebenfalls durch die Wehrenbachstörungen (SE-Ausläufer der Limmattalstörungen) gegeben ist wie auch durch die Erlenbacher Flexur.

Wie im Zürichseeetal ist auch im Glattal das NW–SE-Störungssystem durch das NNW–SSE-System überschritten, welches sich im oberen Glattal stark bemerkbar macht, sei es auch nur als Klüftungssystem. Im E der Pfannenstiellkette konnten folgende tektonische Störungen nachgewiesen werden:

9. Die Störung von Aesch–Hinteregg–Vollikon

Sie ist bedingt durch das eigenwillige Verhalten der starren Pfannenstielscholle. Die Pfannenstielscholle ist flach gelagert, besonders wenn wir den Verlauf des limnischen Leitniveaus betrachten. Die Schichten an der Basis des Pfannenstiels zeigen auf eine Erstreckung von 4 km ein Gefälle von nur 30 m (das Gefälle der obersten Nagelfluhschichten ist wesentlich grösser). Mit ihrem spitzen Südende reicht die Pfannenstielscholle bis nahe an den Scheitel der Grüninger Antiklinale und ist hier auch etwas steiler aufgebogen, aber selbst hier immer noch wesentlich weniger stark als ihre Umgebung. Erst im Gebiet der Forch und des Wassberges fallen die Schichten steiler nach NW ab.

Im selben Abschnitt, wo die Schichten im Gebiet Forch–Wassberg um 40–50 m abfallen, liegen am Greifensee im Gebiet von Maur–Uessikon, die Schichten fast horizontal (s. Abb. 9). Sie haben bereits weiter im S, im Gebiet von Eggbühl–Halden dieselbe Absenkung durchgemacht, die am Pfannenstiell erst weiter im N, im Gebiet Forch–Wassberg einsetzt. Die starke Absenkung im Gebiet Forch–Wassberg und die flache Lagerung bei Maur haben zur Folge, dass in nördlicher Richtung die Sprunghöhe der Verwerfung rasch abnimmt und im N von Aesch, bereits im Bereich der Hottingermulde, die Störung überhaupt verschwindet. Umgekehrt führen der steile Anstieg bei Eggbühl–Halden und die flache Lagerung an der Pfannenstiellbasis dazu, dass im Gebiet von Egg–Langwies der Verwerfungsbetrag auf Null zusammenschrumpft. Die Störung zieht aber noch weiter nach SSE über Inner Vollikon–Ausser Vollikon nach Kreuzlen. Während die Südspitze der Pfannenstielscholle zunächst noch fast horizontal liegt und am Kreuzlerboden und am Stollen mit etwa 1,5–2 % gegen SSE ansteigt, zeigen die Nagelfluhbänke E von Vollikon, im Bereich der Esslingerbergscholle, den stärkeren Anstieg von rund 4 %. Erst W Oetwil a. S. wird die Lagerung flach und horizontal. S Egg liegen somit die Verhältnisse genau umgekehrt: Die Scholle des Esslingerberges liegt höher als das Südende der Pfannenstielscholle. Im Zürichseeraum kam es im Gebiet von Männedorf–Uetikon zu einer verstärkten Absenkung des N-Schenkels der Grüninger Antiklinale. Der Antiklinalscheitel liegt ob Männedorf–Auf Dorf, also südlicher als bei Oetwil. Als ganz leichte Zer-

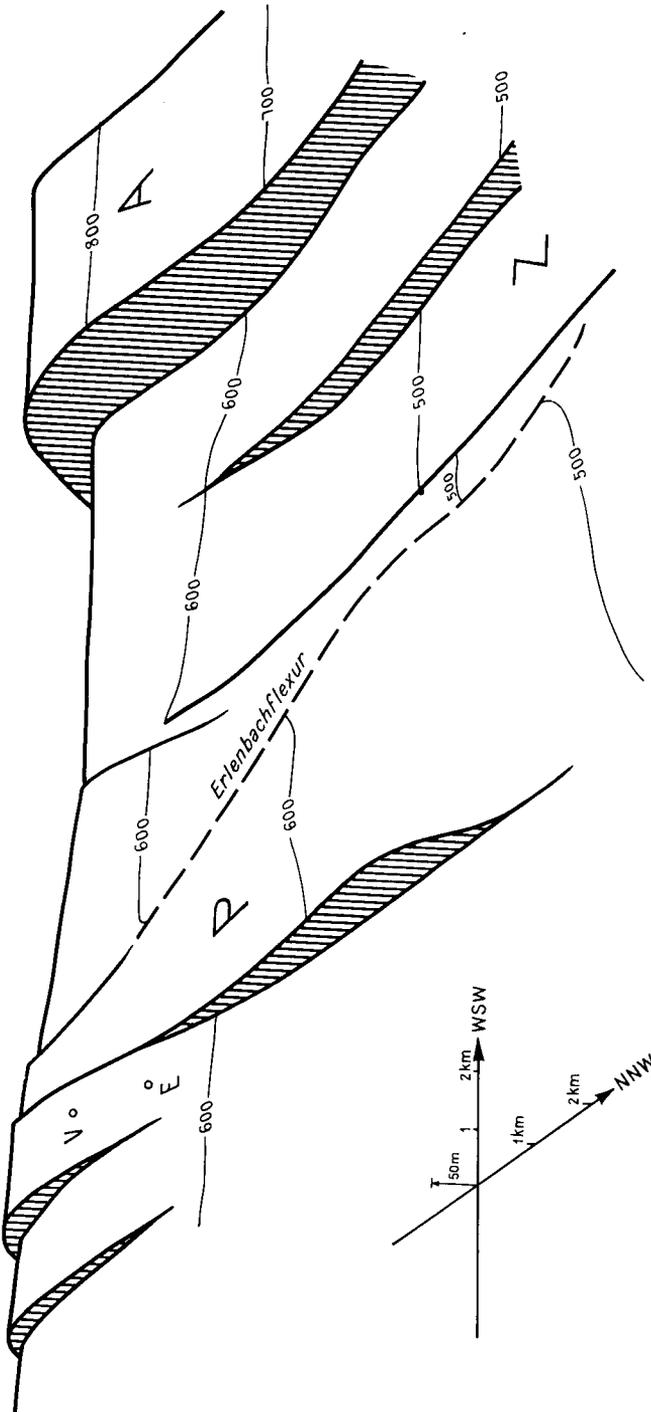


Abb. 9 Die Zurbrechung der Käpfnach-Grüninger-Antiklinale und ihres N-Schenkels. Zahlen Höhen des limnischen Leitniveaus über Meer A Albis E Egg P Pfannenstiel V Vollikon Z Zürichtal

rüttungszone setzt sich die Störung von Vollikon über die Passhöhe noch weiter nach SSE fort bis in den S-Schenkel der Grüninger Antiklinale.

Auch die Schichten E Oetwil bis Grüningen haben die starke Aufwölbung der Esslingerbergscholle nicht vollständig mitgemacht. Eine leichte Störung muss bei Oetwil durchziehen. Eine ähnliche und gleichsinnige Störung wie diejenige von Oetwil muss im Gossauer Ried vorhanden sein, da auf der E-Seite des Gossauer Riedes das Niveau des «Appenzeller Granites» rascher absinkt als auf der W-Seite. Die tiefste tektonische Einsenkung der Glattalschwelle befindet sich dort, wo heute der Aathalschotter liegt. Im Looren, zwischen Hinwil und Dürnten, sind die Schichten um 50—60 m gegenüber dem Antiklinalgebiet von Grüningen-Itzikon versenkt. Zudem befinden wir uns hier noch mitten in flach SSE-fallender Molasse. Dieses SSE-Fallen kann bis N Barenbühl N Hinwil beobachtet werden, während in streichender Fortsetzung im Gossauer Ried bereits N-Fallen herrscht. Das hat zur Folge, dass die Absenkung im Gebiet von Dürnten-Wendhäuslen-Looren nicht nur wettgemacht wird, sondern dass die Verhältnisse weiter nach N sich ins Gegenteil umkehren, das Molassegebiet von Hinwil-Ettenhausen-Kempten (Wetterkalk von Hombrechtikon im Kemptner Tobel auf Kote 640 m) etwa 40—50 m höher liegt als die Molasse im Gossauer Ried.

D. Zusammenfassung

Die Zürcher Molasse zeigt als Grundmotiv einen ursprünglichen, einfachen Faltenbau mit auffällig konstantem WSW-ENE-Streichen, d. h. in der Längserstreckung des Molassetroges. Der Faltenbau ist z. T. (Üetlibergmulde) auf Senkungsvorgänge im Molassetrog schon während der Sedimentation der Molasse, zur Hauptsache aber auf alpine Schübe zurückzuführen (Käpfnach-Grüninger-Antiklinale, Wädenswiler Synklinale). Dieses einfache Faltenbild wurde im Gefolge von Zerrungen durch Brüche und Flexuren und Schollenbewegungen (weiterer Vorstoss der Hohronescholle) zerstückelt (s. Abb. 9) und in eine Reihe von Horst- und Senkungszonen zerlegt: Reusstalsenke-Albis-horst-Zürichtalgraben-Pfannenstiel-Zürichberghorst-Glattalgraben. Zwei Bruch- und Klüftungssysteme überschneiden sich: ein NNW-SSE und ein NW-SE verlaufendes System. Ein drittes Kluftsystem verläuft parallel zum subalpinen Streichen der Falten.

E. Die tektonische Stellung der Zürcher Molasse in ihrer weiteren Umgebung

Die tektonische Stellung der Zürcher Molasse ist gegeben durch ihre Lage zwischen Jura und Alpen. Es sind zunächst die dem Molassebecken eigene Tektonik, dann die alpine Tektonik und nicht zuletzt tektonische Vorgänge, die als Folge einer jüngsten Wiederbelebung uralter tektonischer Anlagen im geologischen Bau Europas (vgl. dazu R. STAUB, 1951), die Alpen, das Molasseländ und den Jura einheitlich ergriffen, welche das tektonische Bild der Zürcher Molasse geschaffen haben.

1. Die dem Molassebecken eigene Tektonik ist bedingt durch die Absenkungsvorgänge während der Sedimentation, zur Hauptsache in Längsrichtung des Troges. Die Einheitlichkeit des Streichens der Schichten, die Lage und der Verlauf der zentralen Trogmulde (heutige Üetliberg-Synklinale) sind wohl zu einem guten Teil der Eigen-tektonik des Molassetroges zuzuschreiben. Auch die Beschaffenheit der Gesteinsmassen (starre Nagelfluhklötze z. B.) blieb nicht ohne Folgen auf das tektonische Bild. Man vergleiche die Tektonik im Gebiet der Pfannenstielscholle.

2. Die Faltung des Jura hat auf die Tektonik unseres Untersuchungsgebietes keinen Einfluss gehabt, eine Tatsache, die zunächst überrascht. Doch spricht die Lagerung der Molasse eher für einen tafelartigen Charakter des sich NNW an die Üetlibergmulde anschliessenden Molassegebietes.

3. Dagegen haben die Vorgänge in der subalpinen Molasse, insbesondere der Vorstoss der Hohronescholle, die Tektonik der Zürcher Molasse in eindeutiger Weise geprägt. Betrachten wir zunächst kurz die Verhältnisse im Gebiet der Hohrone und am Übergang von der mittelländischen Molasse zur subalpinen Molasse. Von der Wädenswiler Synklinale steigen die Schichten der OSM zunächst gleichmässig mit 8—10 %, dann immer steiler nach SSE an, je mehr wir uns der subalpinen Molassezone nähern. In SSE-Richtung erscheinen, wie längst bekannt, sukzessive immer ältere Molasseschichten. Unter der OSM folgt im Abschnitt Samstagern–Wollerau–Bäch–Freienbach–Ufenau–Lützelau–Jona die OMM und etwas S Wollerau bereits die USM. Im Steinbruch im Erlen W Samstagern messen wir ein NNW-Fallen der OMM von 33° (Streichen N 47° E), im Tobel W Roos 41° (Streichen N 48° E), am Stossbach 46° und 52° (Streichen N 60° E) NNW-Fallen. In der Sihlschlucht zwischen Schindellegi und Hütten messen wir bei der Blattwaag 32°, an der Kantonsgrenze 35°, W Schindellegi 42—43° NNW-Fallen. Das Streichen bleibt in der ganzen Sihlschlucht genau dasselbe: N 58° E. Eine kontinuierliche Änderung des Streichens, wie K. HABICHT (1945b) dies zeichnet, kann im erwähnten Gebiet nicht beobachtet werden.

Von besonderem Interesse sind die Verhältnisse am Scherenspitz. K. KLEIBER (1937) und K. HABICHT (1945b) fanden hier steil SSE-fallende Schichten. Die Schichten fallen tatsächlich mit 75—85° nach SSE ein, doch sind sie, wie unsere Untersuchungen ergeben haben, überkippt. Sie sind durch die Hohronescholle überfahren und überbürstet worden. Dass die Schichten überkippt sind, ergibt sich einerseits aus der Sedimentationsabfolge (überkippte Sandsteinrinnen mit scharfer Erosionsdiskordanz und vereinzelt Geröllen an der Basis), andererseits kann im Scherentobel die senkrechte Aufstellung und Überkipfung zusammen mit einer ausserordentlich starken Zerrüttung der Gesteinsschichten Schritt für Schritt verfolgt werden. Die Senkrechtstellung beginnt etwas über 900 m Höhe. Die Verhältnisse sind somit wesentlich anders und im Grunde einfacher als K. KLEIBER (1937) und K. HABICHT (1945b) sie angenommen haben.

Die Überschiebungsfläche der Hohrone liegt nicht überall gleich hoch. Am Scherenspitz lag sie etwas über 1000 m. Am Brandbach S Hütten liegt sie sicher tiefer als 800 m und senkt sich nach W noch weiter ab.

N Finstersee sind, seit langem bekannt, in der Sihlschlucht (Flussbett auf Kote 620—625 m) stark zerrüttete Schichten der OMM aufgeschlossen. Sie sind überkippt und fallen mit 60—80° nach SSE ein. Die Verhältnisse erinnern so stark an die Tektonik am Scherenspitz, dass kein Zweifel besteht, dass es sich hier um das gleiche Phänomen handelt. Die marinen Schichten an der Sihl N Finstersee sind ebenfalls durch die gewaltige Hohronemasse überfahren und überbürstet worden. Ihre Schubfläche lag hier auf etwa 700 m Höhe. Die Front der Hohronemasse befand sich einst zum mindesten mehr als 2 km weiter im NNW der heutigen Hohronekette¹⁷⁾.

Dieser mächtige Vorstoss der Hohronescholle ist in der Tektonik der Zürcher Molasse deutlich abgebildet. Er bewirkte die kräftige Vertiefung der Wädenswiler Synklinale, die leichte Abdrehung der Käpfnach-Antiklinale nach N und die tangentialen Störungen im mittleren Zürichsee. Vielleicht ist auch die Lage des Albishorstes letzten Endes durch die starke Pressung aus S gegeben, wodurch während der späteren Absenkung des Zürichsee- und Reusstales dieses Gebiet «hochgehalten» wurde.

Wenn man den Verlauf der subalpinen Molasse, insbesondere deren äussere Randzone zwischen Vierwaldstättersee und Obersee-Linthebene überblickt, so fällt einem der «Knick» auf, den die äussere Zone der subalpinen Molasse zwischen Vierwaldstättersee und Zugersee erfährt. Dieser «Knick» ist bedingt durch das Vorpellen der gewaltigen Nagelfluhmassen der Rigi-Rosbergsscholle und der Hohronescholle. Die Geröllmassen wurden auf den unterstampischen marinen Mergeln, den sogenannten Grisigermergeln der UMM abgelagert. Diese Mergel bildeten den Gleithorizont für die Nagelfluhmassen der Rigi-Rosbergsschuppe, die in der letzten grossen orogenen Phase nach N vorgestossen und auf die nördlich davorliegende Molasse aufgeschoben wurden, welche nun ihrerseits verfaultet und z. T. in mächtigen Schuppen, z. B. Hohrone, auf die heutige mittelländische Molasse vorgeschoben wurden.

¹⁷⁾ Dies gibt uns einen sehr wertvollen Hinweis über die Grösse des Erosionsbetrages in der Molasse im Raume zwischen Zürichsee-Obersee und Zugersee (s. S. 301) seit der Zusammenpressung der subalpinen Molasse. Der Erosionsbetrag seit dem Ende der Molasse-sedimentation ist gross, dafür sprechen allein schon die breiten Täler des Mittellandes, deren Eintiefung gegenüber ihrer Umgebung leicht berechnet werden kann. Interessant wären Angaben über die Grössenordnung des Abtrags über den höchsten heute erhaltenen Molasseerhebungen. Einen willkommenen Beitrag dazu liefert uns der Albis: Über dem Albisgrat zwischen Albispass und Albishorn erreichte der Betrag der Abtragung bereits vor Ablagerung des «Deckenschotters» (Albisboden-Schotter) mindestens 400 m. Unter der wahrscheinlichen Annahme von 100—200 m Erosion in der obersten Molasse am Üetliberg, auf welchen Betrag aus der Lithologie der obersten Üetliberg-Schichten geschlossen werden darf, würde der Abtrag am Albis 500—600 m erreichen (vgl. Tafel III, Profil A).

Warum kam es gerade im Raume zwischen Zugersee und Linthebene zu einem verstärkten Vorstoss und zur Entstehung weiträumiger Überschiebungen in der subalpinen Molasse? Der eine Grund ist das Vorhandensein gewaltiger Nagelfluhkerne, die im Bereich der mittelländischen Molasse (im Hörnligebiet und im Napf) als starre Massen eine «bremsende» Wirkung ausübten, in der subalpinen Molasse aber die Entstehung starrer Schollen (Rigi, Rossberg, Hohrone) begünstigten. Die Nagelfluhen am Rigi-Rossberg und an der Hohrone sind die gewaltigen Geschiebemassen, welche eine «Urreuss» und eine «Urlinth» im Sinne R. STAUB (1934a) während Jahrmillionen im Raume des heutigen Vierwaldstättersees abgelagert hatten. Der andere Grund liegt wohl in der ursprünglichen Verbreitung des Rupelienmeeres, in welchem die Grisi-germergel zum Absatz gelangten. Sehr wahrscheinlich gibt uns die subalpine Molassezone überhaupt in ihrer Ausdehnung ein Abbild der ungefähren Paläogeographie des Rupelienmeeres. Soweit wie im Untergrund der Gleithorizont der Grisi-germergel vorhanden war, kam es zu einem starken Zusammenschub der Molasse. Die mittelländische Molasse beginnt dort, wo im Untergrund dieser Gleithorizont fehlt. Natürlich ist die Ausdehnung des Rupelienmeeres ihrerseits an tektonische Senkungszone gebunden, die später in umgekehrtem Sinne wieder aktiviert wurden. Tektonik und Paläogeographie ergänzen sich so in gleichem Sinne (vgl. R. TRÜMPY, 1955). Wir haben bereits auf den Zusammenhang der Tektonik der Zürcher Molasse mit der Hohrone-Überschiebung hingewiesen. Wenn wir den Rahmen unserer Betrachtung noch etwas weiter spannen, so sehen wir, dass die Existenz der Käpfnach-Grüninger-Antiklinale und der Wädenswiler Synklinale überhaupt eine Folge des verstärkten Vorstosses der subalpinen Molasse vom «Knick» im Raume des Zugersees weg nach NE ist. In der starren Hörnlimasse nur flach ausgebildet, verstärkt sich die Wädenswiler Synklinale im Gebiet zwischen Baar und Sihlbrugg, zentral vor der Front der Hohronemasse. Mit dem Zurückweichen der subalpinen Front zwischen Zug und Luzern scheinen Synklinale und Antiklinale W des Reusstales zu verschwinden¹⁸⁾.

So kommen wir zum Schluss, dass das primäre tektonische

¹⁸⁾ Diese eben genannten Zusammenhänge sind nicht nur von rein wissenschaftlichem Interesse, sondern auch von grösster Bedeutung in erdölgeologischer Hinsicht. Die Käpfnach-Grüninger-Antiklinale, die wir im Detail verfolgt haben (s. Tafel I), ist aus mehreren Überlegungen heraus die in erdölgeologischer Hinsicht wohl interessanteste Struktur im E Teil des schweizerischen mittelländischen Molassebeckens:

1. Durch ihre Ausdehnung: (a) grosse Längserstreckung in WSW-ENE-Richtung von gegen 40 km, (b) sehr grosses Einzugsgebiet: flacher Nordschenkel über 10 km breit, Südschenkel 2,5—3 km breit. (c) Auf Grund unserer Auffassung über die Sedimentation der Molasse muss die Struktur sich auch nach der Tiefe hin fortsetzen (weitgehende Konkordanz in den einzelnen Immersionsgebieten). Der Nordschenkel dürfte allerdings in der Tiefe weniger breit sein als an der Oberfläche, dafür ist die Möglichkeit von weiteren oil-traps entlang den synsedimentären Knickzonen gegeben. Der Südschenkel dürfte in der Tiefe breiter und steiler werden (Knickzone von Stäfa). (Fortsetzung siehe umstehende S. 288.)

Bild der Zürcher Molasse letzten Endes zu einem guten Teil auf paläogeographische Gegebenheiten, d. h. auf die Ausdehnung des Rupelienmeeres und auf die Lage gewaltiger Schuttfächer im subalpinen und mittelländischen Raum zurückgeführt werden kann (ähnlich hat sich R. STAUB seit 1938 geäußert).

4. Das primäre, tektonisch einfache Faltenbild der Zürcher Molasse, welches durch die nordwärts ausklingenden alpinen Bewegungen geschaffen wurde, erfuhr in späterer Zeit eine weitere Umformung, die der Zürcher Molasse erst ihr eigentliches Gepräge und ihre tektonische Eigenart verliehen hat. Es erfolgte die Zerbrechung der Zürcher Molasse in einzelne Schollen, zunächst durch ein NW-SE-Bruchsystem, dann aber vor allem durch das NNW-SSE-System und die Einsenkung der Grabenzonen. Diese Bruchscharen sind von R. STAUB (1953) zum eryträischen System zusammengefasst worden, dessen Spuren in Europa von Tarent bis an den Niederrhein erkennbar sind.

Diese Zerbrechung hat deshalb nicht nur die Zürcher Molasse, sondern auch die subalpine Molasse und deren weites Hinterland, die Alpen (s. S. 272) ergriffen, und dies nachdem ihr Deckenbau vollständig beendet war. Eine Zerbrechung, die den Alpenkörper und das Vorland in gleicher Weise ergriffen hat, ja sogar über Kontinente hinweg geht, muss ihre Ursache im kristallinen Untergrund haben. Anordnung und Verlauf der Klüfte und Brüche in der Zürcher Molasse und die Tatsache, dass gewisse Zonen als tektonische Gräben eingesunken sind, sind nach unserer Auffassung zum Teil Zerrungen im Molassetrog und am äusseren Alpenrand zuzuschreiben, Zerrungserscheinungen, die auf ein kaum merkliches letztes «Durchbiegen» der nordöstlich vor dem Aarmassiv gelegenen Gebiete des helvetischen Bogens, des Mittellandes zwischen Zürich und Bern und des östlichen Faltenjuras zurückgeführt werden könnten. Die Zürcher Molasse liegt am Ostrand dieser Zone. Nicht zufällig zielt die Richtung der Albisverwerfung im N zum Ostende der Lägern bei Dielsdorf. Im grossen gesehen liegt die Bruchzone von Zürich auf einem flachen Bogen zwischen dem E-Abfall des Schwarzwaldes und dem E-Abfall des Aarmassivs. Sie bildet nach R. STAUB (1954) die W-Begrenzung der Glarner Senke, die als alte Querstruktur schon

2. Durch ihre Lage in der Nähe des Südrandes der mittelländischen Molasse gegen die subalpine Molasse. Die Mächtigkeit der Molassesedimente ist hier wohl gross, doch besteht — angedeutet in der Existenz und Lage der Käpfnach-Grüninger-Antiklinale — die Möglichkeit, dass die Rupelienmergel, die als Erdölmutterformation in Frage kommen, in ihrem südlichen Einzugsbereich gerade noch erreicht werden, indem das Vorprellen der subalpinen Molasse im Raume des Zugersees und die Antiklinale selbst im Sinne unserer Überlegungen auf ein ursprüngliches erweitertes Vorgeifen des Rupelienmeeres nach NNW hindeuten würde.

Auf jeden Fall dürfte eine Tiefbohrung auf Erdöl im Bereich der Antiklinalachse bei Männedorf, bei Station Sihlbrugg oder bei Hausen a. A. die grössten Aussichten auf Erfolg haben oder doch die besten Erkenntnisse über die Erdölmöglichkeiten im E schweizerischen Molasseland vermitteln.

mindestens seit dem Ende des Karbons besteht, und ihrerseits nur einen Teil der mächtigen Quersenke darstellt, die sich vom Hegau über das Glarnerland, das Bergell zur Adria hinunterzieht (R. STAUB, 1951, 1954). Die Bruchzone von Zürich hat ihren Ursprung in uralten tektonischen Anlagen im geologischen Bau Europas.

V. Das geologische Geschehen in der Zürcher Molasse in seiner Beziehung zur alpinen Orogenese

Die Zürcher Molasse umfasst den jüngeren und jüngsten Teil der mittelländischen Molasse. Die Aussagen, die wir auf Grund der sedimentären und tektonischen Verhältnisse der Zürcher Molasse gewonnen haben, beziehen sich somit auf den Zeitabschnitt vom mittleren Miozän bis an die Wende zum Pliozän. Um einen Überblick über die zeitlich-räumliche Stellung der Zürcher Molasse im Molasseraum zu gewinnen, sei der Rahmen der Betrachtung etwas erweitert.

A. Das geologische Geschehen im Molassetrog vor Beginn der Sedimentation der Zürcher Molasse

Von der Kreide bis ins Eozän lag im Gebiet des heutigen Molassetroges ein weit ausge dehntes, flaches Festland, das Bohnerzfestland, dessen Spuren vom Jura bis in die nördlichen Teile des Aarmassivs hineinreichen. Weiter im S schloss sich das Meer an, in welchem die gewaltigen Massen des helvetischen Flysches und, noch weiter im S, des höchsten penninischen Flysches zur Ablagerung kamen. Im S wurden immer weitere Teile des Festlandes von der Ablagerung erfasst, das Meer griff so unter dem Einfluss tektonischer und isostatischer Vorgänge während des Eozäns und zu Beginn des Oligozäns immer weiter nach N vor. Als am weitesten nach N vorgreifendes Endglied der Flyschsedimentation dürften die Grisi-germergel des Rupelienmeeres gelten, die schon von vielen Geologen im Grunde einfach als «Flysch» betrachtet wurden (u. a. H. FRÖHLICHER, 1933; H. MOLLET, 1921; R. STAUB, 1934a). Schon in der Kreide und im Eozän war es im Süden des Flyschmeeres zum Zusammenschub ostalpiner und penninischer Decken gekommen. Im Rupelien setzte nun langsam die eigentliche Hauptbewegungsphase im Werden der Alpen, die Tirolide Phase, ein (R. STAUB, 1934a). Die ostalpiner Decken stiessen bis über das Gebiet des heutigen Aarmassivs nach N vor. Ihnen vorgelagert lagen abgeschürfte Pakete helvetischen und penninischen Flysches. Die helvetischen Decken waren ebenfalls beträchtlich nach N vorgerückt worden, lagen aber bereits tief begraben unter der Masse der ostalpiner Decken.

Mit der Tiroliden Phase der alpinen Bewegungen beginnt auch die eigentliche Molassesedimentation. Im unteren Chattien setzen erstmals die gewaltigen Geröllschüttungen ein (Rigi, Speer) als Zeugen der nahen ostalpiner Deckenmassen. Der Alpenrand lag damals nach J. SPECK (1953) etwa auf der Breite von Sisikon. Auf die gewaltigen Überschiebungsvorgänge während der Tiroliden Phase folgte vom mittleren Oligozän durch das ganze Miozän bis zum Pliozän eine Zeit, in welcher es in erster Linie zu wiederholten Hebungen und Verbiegungen im Alpenkörper kam (R. STAUB, 1934a), deren wechselvolles Spiel die grossen Sedimentationsrhythmen im Molassebecken beherrschte, in der aber horizontale Bewegungen grösseren Ausmasses fehlten.

Diese Phase der relativen tangentialen Ruhe war die Phase der Molassesedi-

mentation. Sie umfasst einen Zeitraum von 30 Millionen Jahren. Im Gefolge des kräftigen Zusammenschubes während der Tiroliden Phase waren die spezifisch leichten Gesteinsmassen zu grosser Mächtigkeit aufgestapelt und in grössere Tiefe hinabgedrückt worden. Diesem Hinabgedrücktsein folgte nun ein langsames isostatisches Aufsteigen des Alpenkörpers und als Ausgleichsbewegung ein entsprechendes Absinken des Vorlandes. Nur so ist die erstaunliche Mächtigkeit, verbunden mit der faziellen Eintönigkeit der Molassesedimente zu erklären.

Es ist typisch für die Molassesedimentation, dass die Auffüllung des Troges mit der Absenkung desselben fast immer Schritt hielt. Es blieb mit geringen zeitlich wohlbegrenzten Ausnahmen eine kontinentale, fluviatil-limnische Sedimentation, obwohl sich der Trog im Laufe der Jahrtausende um viele tausend Meter abgesenkt hat. Allerdings war der Absenkungsbetrag nicht überall im Molassetrog gleich. Die Hauptsenkungszone lag ursprünglich nahe am Alpenrand und hat sich im Laufe des Miozäns immer weiter nach NW ins Vorland hinaus verschoben. Nachdem von den chattischen Flüssen am damaligen Alpenrand Kies und Sand in 2000—3000 m Mächtigkeit abgelagert worden waren (Rigi, Speer), verlegte sich die Zone stärkster Absenkung etwas weiter nach NW vom Alpenrand weg. Es kam zur Entstehung einer Piedmontebene vor dem chattischen Alpenrand, so dass man annehmen kann, dass die chattische Nagelfluh nie sehr mächtig von den bunten Nagelfluhmassen des Aquitans (Hohrone) bedeckt war (K. HABICHT, 1945a), z. T. sogar im Aquitan bereits wieder zum Abtrag gelangte.

Nur einmal noch wurde das Molassegebiet infolge starker allgemeiner Trog-senkung nochmals vom Meer eingenommen, nämlich zu Beginn des Miozäns im Burdigal und Helvet. Die Sedimente aus dieser Meeresperiode, die Obere Meeresmolasse (OMM), finden wir heute in grosser Verbreitung im NW Kanton Zürich gegen den Jura hin aufgeschlossen und ebenso am Rand gegen die subalpine Molasse, z. B. bei Bäch, Ufenau, Lützelau, Jona am oberen Zürichsee. Es war ein Flachmeer, welches durch die Schüttungen der alpinen Flüsse nur allmählich aufgefüllt wurde. Auf die kräftige Einsenkung, welche dem marinen Einbruch vorausging, setzte um die Wende Aquitan-Burdigal eine verstärkte Erosion in den Alpen ein. Es waren vor allem zwei mächtige Flüsse, die U r - a a r e und der U r r h e i n, welche, abermals weiter nach N vorgerückt als die aquitanen Schuttfächer, durch das ganze Miozän hindurch im Gebiet des Napf und des Töfstock ihre gewaltigen Schuttmassen ablagerten. Im Helvet hat der Napffächer seine quarzitreichen Geröllschüttungen im N bis über den Rhein und ins Unterseegebiet, im S bis über den Zugersee hinaus (J. SPECK, 1953) entsandt. Infolge der starken Schüttungen hatte das Meer der OMM nie bis ganz in das Zentrum des Hörnli- und des Napfgebietes vordringen können. Mit der gewaltigen Schüttung der Austernnagelfluh im «obern» Helvet (E. VON BRAUN, 1953) fand die marine Periode ihr Ende¹⁹⁾. Von nun an ist es die H ö r n l i s c h ü t t u n g, die in unserem Molassegebiet die Hauptrolle spielt.

¹⁹⁾ Die Quarzite der «Austernnagelfluh» sind nach unserer Auffassung von der N a p f - s c h ü t t u n g abzuleiten, die ja ausserordentlich reich an Quarziten ist.

B. Das geologische Geschehen während der Ablagerung der Zürcher Molasse

1. Die Sedimentation der Zürcher Molasse und der OSM im allgemeinen

Betrachten wir im folgenden zunächst die Vorgänge etwas näher, die sich während der Sedimentation der Zürcher Molasse abgespielt haben. Unsere Aussagen betreffen vor allem die Zeit seit der Ablagerung des Meilener Kalkes bis zum Ende der Molassesedimentation. Ausgehend von der Feststellung, dass einerseits alle Molassesedimente nur wenig über Meereshöhe abgelagert wurden (durchgehend gleichbleibende Fazies, s. S. 184), andererseits aber in mehreren tausend Metern Mächtigkeit vorliegen, kamen auch wir zum Schluss, dass der Molassetrog, wie allgemein angenommen wird, sich ständig abgesenkt haben muss. Es ist sicher falsch, wenn man die Absenkung des Troges mit einer ständigen «Überlastung» infolge Ablagerung neuer Geschiebmassen erklären will. So nachgiebig ist der Untergrund der Erde gegenüber den äusseren Vorgängen doch nicht. Die Absenkung ging im Gegenteil der Sedimentation voraus. Es sind in erster Linie die Absenkungsvorgänge im Molassetrog zusammen mit den Hebungen in den Alpen, welche den Verlauf der Molassesedimentation in direkter Weise bestimmt haben. Andererseits besteht wohl indirekt ein Zusammenhang zwischen Hebung und Senkung, indem die Senkungen als Kompensationsbewegungen zu den Hebungen angeschaut werden müssen und umgekehrt.

Gerade in Bezug auf die Art der Sedimentation haben die Detailuntersuchungen in der Zürcher Molasse verschiedene Anhaltspunkte geliefert und uns zu einer neuen Auffassung über die Sedimentationsvorgänge in der Molasse geführt (s. Abb. 10). Wesentlich für das sedimentäre Geschehen sind, wie gesagt, die synsedimentären Absenkungen. Die Absenkungen haben aber den Molassetrog nicht überall gleichzeitig und gleich stark betroffen. Vielmehr wurden im allgemeinen nur einzelne Gebiete vorwiegend als breite Streifen parallel zum Streichen des Troges von der Absenkung ergriffen. Es handelt sich dabei nicht um ein weiträumiges, leichtes Abbiegen der Unterlage, wie das heute allgemein angenommen wird. Ein weiträumiges «Abbiegen» führt zu einer leichten, aber stetigen Mächtigkeitszunahme der verschiedenen Serien zum zentralen Teil des Troges hin, wie das fast in allen Querprofilen durch die Molasse dargestellt wird. Ein immer weitergehendes «Abbiegen» führt zu einer kontinuierlich sich vergrössernden Diskordanz zwischen den höchsten und den tiefsten Schichten des Beckens. Nach unserer Auffassung aber handelt es sich um ein eigentliches «Einknicken» der Absenkungsgebiete entlang begrenzten Knickzonen, wobei das abgesenkte Gebiet überall um etwa den gleichen Betrag abgesenkt worden wäre. Bei einer gewöhnlichen Immersion mag der Senkungsbetrag 10—30 m betragen haben, bei einer Breite der Knickzone von 0,5—2 km. In den abgesenkten Gebieten kam es vorwiegend zur Ablagerung frischen Geschiebmaterials, während die nicht abgesenkten Gebiete viel län-

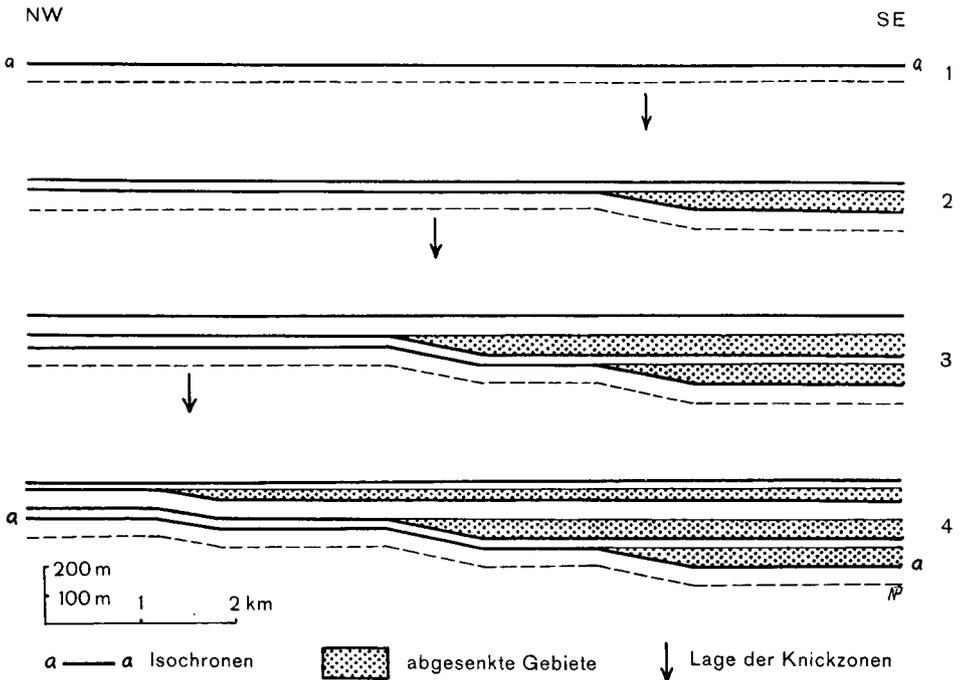


Abb. 10 Schema der Vorlandsedimentation am Beispiel der OSM.

ger «trocken» lagen und der Verwitterung ausgesetzt waren. Die auffällige, viel stärkere primäre Verwitterung, vor allem Entkalkung der OSM im NW Kanton Zürich (durchschnittliche Dichte 2,4) im Vergleich etwa zur Molasse am Pfannenstiel und am Albis (durchschnittliche Dichte 2,65, s. S. 150) findet damit ebenfalls ihre Erklärung. Im abgesenkten Teil dagegen wurden die Sedimente rascher zugedeckt und frisch konserviert. Zum abgesenkten Gebiet richteten die Molasseflüsse ihren Lauf, dorthin brachten sie nun ihre Geschiebe- und Sandmassen, überschütteten es im Laufe der Zeit weiträumig und füllten es langsam immer höher auf, wenn überhaupt genügend Geschiebe vorhanden war; wenn nicht, kam es zur Ablagerung von Glimmersandsteinen, falls das Wasser noch etwas bewegt war, und limnischen Mergeln und Kalken in stillem Wasser. In den Immersionsgebieten wurden die weitausgedehnten, flächenhaften Knauersandsteine und Nagelfluhschüttungen abgelagert, grobes Material besonders zu Beginn der Absenkung. War im Laufe langer Zeiträume das Immersionsgebiet aufgefüllt worden, wurde das Molasseland wieder *gesamthaft* in Besitz genommen. Hier kam es dann zur Entstehung der eigentlichen Stromrinnen, die natürlich auch in den abgesenkten Gebieten während der Immersion entstehen konnten.

Mit Hilfe der Knickzonen lassen sich sämtliche Erscheinungen der Molasse-sedimentation zwanglos erklären. So z. B. die auffallenden Mächtigkeitenunter-

schiede der Molasse am Nord- und Südrand des Molassebeckens, das unvermittelte Einsetzen flächenhafter, weitausgedehnter Nagelfluhschüttungen am Pfannenstiel und am Üetliberg. Man hat hier zunächst den Eindruck, als ob sich die Schüttungsintensität gegen die höchsten Molassestufen hin stets weiter verstärkt hätte. Es handelt sich aber unserer Meinung nach nicht um eine kontinuierlich verstärkte Schüttungsintensität, sondern die allgemeine Absenkung hat Knick für Knick immer weiter nach N ausgegriffen, sie hat immer weitere Gebiete des Vorlandes erfasst. Das heisst nicht, dass es nicht auch früher schon zu Absenkungen im nördlichen Vorland gekommen wäre. Solche haben immer wieder während langandauernden Zeiträumen gespielt, vor allem zur Zeit der Ablagerung der Meilener Schichten und der Zürich-Schichten, und den gesamten Trog gleichmässig und allmählich abgesenkt. Gewisse Knickzonen müssen immer wieder aktiv gewesen sein. Dies ist vor allem für die äussersten Knickzonen am NW-Rand des Molasse-troges und auch für die Knickzone von Seebach-Waldegg, welche gleich nordwestlich an die Üetliberg-Synklinale anschliesst, der Fall. Es ist kaum anzunehmen, dass die abgesenkten «Schollen» sich stets genau horizontal gehalten haben. Es konnte vorkommen, dass eine ganz leichte Abkippung der Scholle gegen den Knick hin erfolgte (antithetische Knickung), dass somit die Scholle im Bereich der Knickzone wohl abtauchte, es dort zur Sedimentation kam, während weiter entfernt Erosion einsetzte oder aber, dass die abgknickte Scholle in gleichem Sinne wie die Knickzone selbst, nur schwächer, weiter abfiel.

Nach der Tiefe hin, wahrscheinlich unter dem Keuper oder erst im kristallinen Untergrund sind als Fortsetzung der Knickzonen wohl Brüche anzunehmen. Solche Längsbrüche hat auch R. STAUB seit Jahren angenommen (Weichselbruch, Kernstörungen der Molasse) und im Rahmen des Gesamtkontinentes zu verstehen gesucht. Diese Brüche, die besonders in den starken Absenkungsgebieten der subalpinen Molasse grössere Ausmasse angenommen haben müssen, wurden später, während der letzten alpinen Pressung in umgekehrtem Sinne, wieder aktiviert und haben so in zweifacher Weise zur Entstehung und Abgrenzung der subalpinen Nagelfluhschollen geführt.

Die wesentlichen Unterschiede im Sedimentationsbild zwischen der Annahme einer allgemeinen «Abbiegung» und der Annahme von Knickzonen ergeben sich aus folgender Gegenüberstellung:

Abbiegung

1. Kontinuierlich sich verstärkende Diskordanz zwischen den höheren und den tieferen Molasseschichten.
2. Die Schichten dünnen gegen den äusseren Rand des Vorlandtroges ganz allmählich aus.

Knickzonen

1. Weitgehende Konkordanz in den Immissionsgebieten, Diskordanz in den Knickzonen.
2. Absetzen gewisser Schichtserien an den Knickzonen.

Abbiegung

3. Die Basisfläche des Troges oder einzelner Schichtserien zeigt im Querschnitt einen einfachen, gleichmässigen Verlauf.
4. Die Isopachen verlaufen in regelmässigen Abständen.
5. Eine «Abbiegung» ist mechanisch schwer vorstellbar.

Knickzonen

3. Die Basisfläche des Troges oder einzelner Schichtserien zeigt einen stufenförmigen Verlauf. Flache Zonen wechseln mit Zonen stärkeren Gefälls.
4. Die Isopachen sind bald dichter geschart, bald liegen sie weiter auseinander.
5. Knickstufung als eigentliche Versetzung von Schollen ist sehr wohl denkbar.

2. Die Immersionsphasen in der Zürcher Molasse

Mit Hilfe der verschiedenen Leithorizonte, die wir im Detail verfolgt haben, lässt sich in der Zürcher Molasse eine synsedimentäre Stufung an Hand der obengenannten Kriterien nachweisen. Insbesondere konnten wir am Albisprofil die Stufung der Leithorizonte aufzeigen, ebenso das Aussetzen von bestimmten Schichten. Schichtdiskordanzen, wie sie durch ein allgemeines Abbiegen entstehen müssten, konnten keine gefunden werden. Erstaunlich ist das unvermittelte, kräftige Einsetzen von starken Geröllschüttungen, besonders an der Pfannenstielbasis, von denen man annehmen müsste, dass sie noch weit nach N gestreut hätten, wären sie nicht durch eine Knickzone «eingedämmt» gewesen.

Die Knickzonen lassen sich nur bei einer detaillierten Untersuchung erfassen. Bei summarischen und auch bei seismischen Untersuchungen können sie sehr leicht untergehen und kaum beachtet werden. Leider besitzen wir von der OSM keine genügend detaillierten Unterlagen. Besonders interessant müssten sich die Verhältnisse am NW-Rand des Molassetroges gestalten. Die einzigen genaueren Angaben, die hierüber bestehen, sind die Isohypsenkärtchen, die A. AMSLER (1915, Fig. 7 und 8) hauptsächlich auf Grund der Aufnahmen von F. MÜHLBERG (1901) für gewisse Abschnitte des E-Endes des Faltenjuras konstruiert hat, ferner das Isohypsenkärtchen von E. VON BRAUN (1953) für den mittleren Malm. Diese Kärtchen nun zeigen tatsächlich alle eine deutliche Stufung der Malmunterfläche am Nordwestrand des Molassebeckens, die z. T. sicher auf einer späteren Auffaltung des Molassebeckens beruht, z. T. aber eindeutig synsedimentär angelegt wurde (präviindobone Stufen). Dazu gehört z. B. die Flexur am Rhein zwischen Kaiserstuhl und Eglisau, die Flexur Rekingen-Lienheim-Bühl, die Endinger Flexur, die heute so besonders schön sichtbar geworden ist. Aus dem Kärtchen von A. AMSLER ergeben sich folgende Flexuren: die Endinger Flexur, die Ifluh-Flexur, die Kalofen-Flexur, die Schönenwerd-Flexur. Diese Flexuren erreichen grössenordnungsmässig Werte von 100—200 m. Wir möchten alle diese Flexuren primär mit synsedimentären Knickzonen in Zusammenhang bringen, im Gegensatz zu A. AMSLER, der sie als Begleiterscheinung mit den Falten des Juras entstehen lässt. Wahrscheinlich sind aber umgekehrt die Falten des Juras mit diesen Knickzonen in Verbindung zu setzen (s. weiter unten). Die Schwelle

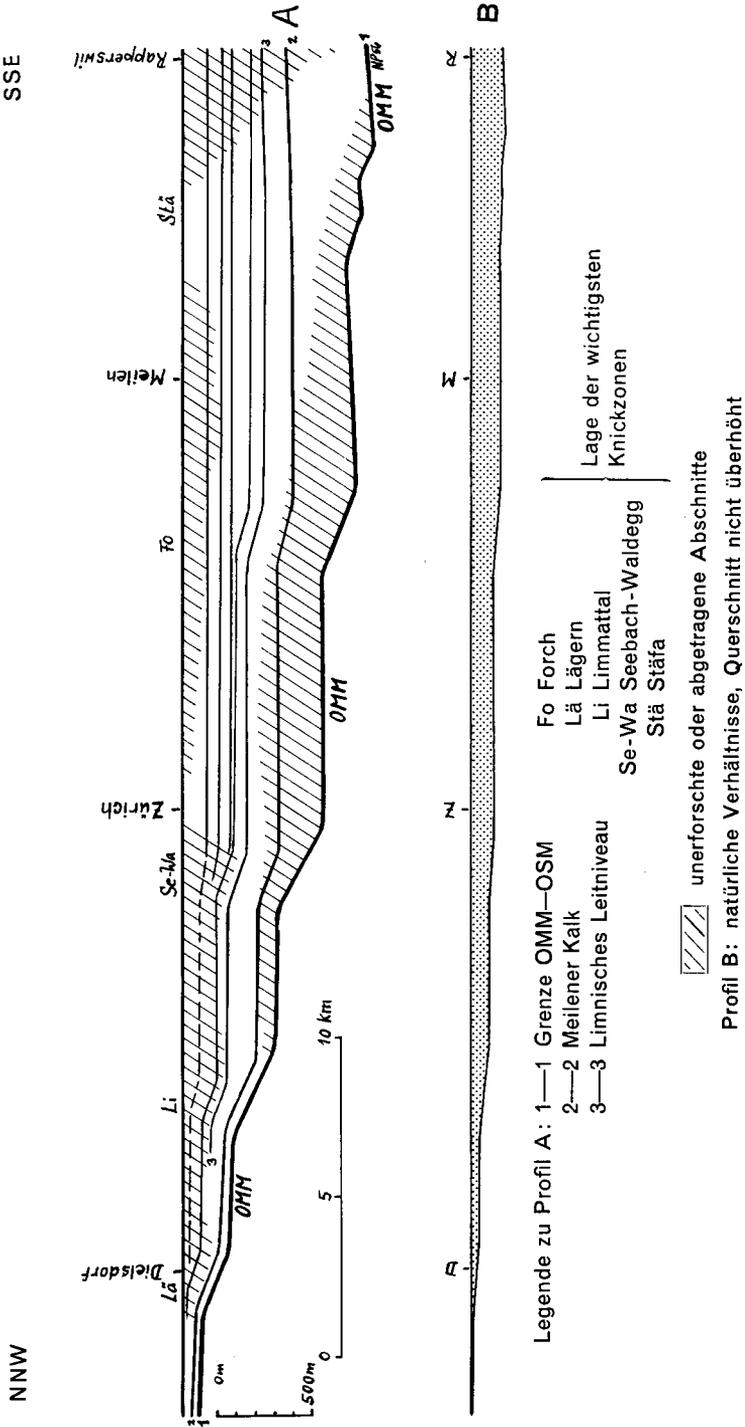


Abb. 11 Schematischer Querschnitt durch den Sedimentationsraum der OSM zwischen Dielsdorf und Rapperswil zu Ende der Ablagerung der oberen Üetliberg-Schichten.

zum Faltenjura (vgl. ALB. HEIM, 1919, S. 603) ist in gleicher Weise als bedeutende synsedimentäre Knickzone oder Scharung von Knickzonen zu betrachten. Die Stufung der OSM zwischen München und Ulm im Niveau der A-Grenze, ausgedrückt in der Flexur von Krumbach, der Ebenheit von Scherstetten, der Abbiegung von Türkheim, der Ebenheit SE Türkheim (K. LEMCKE u. a., 1953, S. 85), kann sehr wohl als synsedimentäre Stufung gedeutet werden. Ebenso können die Sedimentationsrhythmen wie sie z. B. A. BERSIER (1950) für die USM beschreibt, auf kleineren Immersionsphasen im genannten Sinne beruhen (s. Abb. 11).

Es ist naheliegend und wäre natürlich, eine Gliederung der Zürcher Molasse nach den synsedimentären Immersionsphasen vorzunehmen, die in unserem Untersuchungsgebiet zum Ausdruck kommen. Wir sind uns aber bewusst, dass ihnen, z. T. wenigstens, eher lokale Bedeutung zukommen dürfte. Mit den orogenen Hauptphasen in den Alpen haben sie direkt nichts zu tun, indem sie viel kleinere Zeitabschnitte umfassen als jene. Zudem haben wir gesehen, dass die Immersionen durchaus der dem Molassetrog eigenen starren Tektonik entsprechen. Sie sind individuell und unabhängig erfolgt, auch wenn indirekte Beziehungen zu den Hebungen in den Alpen bestehen (s. S. 184). Wir haben die Phasen nach Lokalitäten benannt, wo die Gesteine, die während den betreffenden Immersionen zur Ablagerung gelangten, vorkommen. In den meisten Fällen ist das betreffende Immersionsgebiet überfüllt worden. Wir sehen, wie die Serie im Hangenden über die Knickzone hinaus weit nach NW vorgreift, sehr oft über unser Untersuchungsgebiet hinaus. Am Aussenrand des heutigen Molassebeckens, etwa am Südfuss des Faltenjuras und im nordwestlichen Kanton Zürich, müssen entlang bestimmten Zonen häufige Absenkungen stattgefunden haben, sehr oft immer wieder in der gleichen Zone. Dadurch wurde es überhaupt möglich, dass die Auffüllung soweit nach N fortschreiten konnte, bis dann irgendwo im Innern des Troges wieder eine Immersion erfolgte, die in erster Linie die Gieschiebemassen «abfing». Die Immersionsphasen werden am besten nach den Immersionen im Innern des Troges benannt, da sich diese noch am ehesten auseinanderhalten lassen. Eine *Immersionsserie* umfasst somit die Schichten im eigentlichen Immersionsgebiet plus die weit ausgreifenden Schichten im Hangenden bis zur nächsten markanten Immersion im Innern des Troges. Auf Grund unserer Untersuchungen (vgl. die Ausführungen auf S. 261 ff.) kommen wir zu folgenden *Immersionssphasen*. (Siehe Tabelle der Immersionsphasen, S. 297).

Auch in den Schichten der OSM unter dem Meilener Kalk, d. h. in der «Molassenserie von Kempraten» (s. Anm. S. 265), muss es mehrere, z. T. kräftige Immersionsphasen gegeben haben, besonders in den näher zur subalpinen Molasse liegenden Abschnitten der mittelländischen Molasse. Die Mächtigkeit des unteren Abschnittes der OSM zwischen dem «Appenzeller Granit» und der OMM beträgt im alpennahen Teil nach den Angaben verschiedener Autoren 450—500 m. Am äusseren Trogrand gegen den Jura hin liegt das Niveau des Meilener Kalkes nur etwa 50—100 m über der OMM (Greppe). Vielleicht ist

Immersionphasen in der Zürcher Molasse

(vgl. Abb. 11 und Tafel III)

Immersionphasen	Massgebende Immersionsgebiete	Immersionsserien	Lage der massgebenden Knickzonen
2. Üetlibergphase	Üetliberg	Obere Üetliberg-Schichten	Im NW unseres Untersuchungsgebietes
1. Üetlibergphase	Albis-Üetliberg	Untere Üetliberg-Schichten und Üetlibergmergel	Im NW unseres Untersuchungsgebietes
5. Pfannenstielphase	Albis-Üetliberg Pfannenstiel-Zürichberg	Balderschüttung und obere Falätschemergel	Evtl. Zone Seebach-Waldegg
4. Pfannenstielphase	Pfannenstielscholle	Nagelfluhen der mittleren Pfannenstiel-Schichten, mittlere Falätschemergel	Forch
3. Pfannenstielphase	Albis-Üetliberg Pfannenstiel-Adlisberg	Albispaßschüttungen	Seebach-Waldegg
2. Pfannenstielphase	Bürglen-Albispass Pfannenstiel	Renggerberg-Nagelfluh und untere Falätschemergel	Buchenegg-Forch
1. Pfannenstielphase	Bürglen	Bürglen-Nagelfluhen und oberer Abschnitt (R. 580) der Rüttschlibachserie	Albispass
Zürichphasen	Allgemeine Trogsenkungen	Zürich-Schichten	Im NW unseres Untersuchungsgebietes
Meilener Phasen	Allgemeine Trogsenkungen	Meilener Schichten	Im NW unseres Untersuchungsgebietes
Ältere Phasen	In der Nähe der subalpinen Molasse	Schichten zwischen dem Niveau des «Appenzeller Granites» und der OMM (s. Anm. S. 265)	Im Zürichseeraum

die Lage der Käpfnach-Grüninger-Antiklinale bereits durch solche Immersionsphasen und deren Knickzonen vorgezeichnet. Ihre merkwürdige Asymmetrie zeigt nicht umsonst eine entfernte Verwandtschaft mit Knickzonen an.

C. Das geologische Geschehen nach der Sedimentation der Zürcher Molasse

Bis zu den obersten Schichten der Zürcher Molasse am Üetliberggipfel beobachten wir eine vollständige Einheitlichkeit der Molassesedimente. Die obersten Nagelfluhen könnten rein nach ihrer lithologischen Ausbildung ebensogut in der unteren OSM gefunden werden. Die Ablagerungsbedingungen sind im wesentlichen durch die ganze Zeit der OSM hindurch im Grundprinzip immer wieder dieselben geblieben, auch wenn sie im einzelnen stetsfort wechselten. Entscheidende Änderungen sind erst nach der Sedimentation der Molasse eingetreten, ja, diese Veränderungen bedeuteten überhaupt das Ende der Molassesedimentation.

Aus dem tektonischen Bild der Zürcher Molasse lassen sich deutlich zwei getrennte, zeitlich aufeinanderfolgende Umformungsphasen erkennen: eine Faltungsphase und eine Zerbrechungsphase.

1. Die Faltungsphase

Am Ende der Molassesedimentation machten sich erneut starke tangentiale Kräfte im tertiären Alpenkörper bemerkbar. Noch hatte das Gebirge eine ganz andere Beschaffenheit als heute. Durch die Erosion während der Molassezeit waren die ostalpinen Deckenmassen im N sozusagen vollständig abgetragen worden. Bereits hatte die Erosion auch beträchtlich in die helvetischen Decken hineingegriffen, wie uns das Vorkommen helvetischen Geröllmaterials in den Üetliberg-Schichten beweist. Man vergleiche diesbezüglich die Arbeiten von J. FRÜH (1888); G. ESCHER-HESS (1907); W. LEUPOLD, H. TANNER und J. SPECK (1943); H. TANNER (1944) und J. SPECK (1953). Das alpine Relief war ausgereift, die Erosion nicht mehr besonders kräftig (R. STAUB, 1952). Einen Alpenrand im heutigen Sinne gab es noch nicht. Säntis-Rigi-Hochfluh-Pilatus existierten noch nicht, ebenso nicht die markanten Schollen eines Speer oder eines Rigi. An das gealterte obermiozäne Alpenrelief schloss sich im N die flache, riesige Schwemmlandebene an. Auch der Faltenjura existierte noch nicht.

Die nun einsetzenden starken tangentialen Pressungen führten zunächst zu einem weiteren Vorrücken der Alpen. Der tangentiale Stoss hatte zur Folge, dass die mächtigen Nagelfluhschollen im Gebiet der subalpinen Molasse zerbrachen — vermutlich entlang synsedimentären Knickzonen und Brüchen — und entlang dem Gleithorizont der Grisigermergel, stark zusammengedrückt und übereinandergeschoben wurden. Ob darunter auch der tiefere Untergrund, das Mesozoikum zusammengeschoben wurde, entgeht unserer Kenntnis. Dort, wo dieser Gleithorizont fehlte, wurden auch die tieferen Horizonte, d. h. das

Mesozoikum, mit der Molasse einheitlich erfasst und gefaltet. Damals entstand die Käpfnach-Grüninger-Antiklinale, damals kam es zur Faltung des Jura. Die seitliche Pressung hatte aber auch eine kräftige Aufstauung und Emporwölbung des Aarmassivs bewirkt und diese wiederum war die Ursache für das Abgleiten der höheren helvetischen Decken, welche an den Schollen der subalpinen Molasse aufbrandeten.

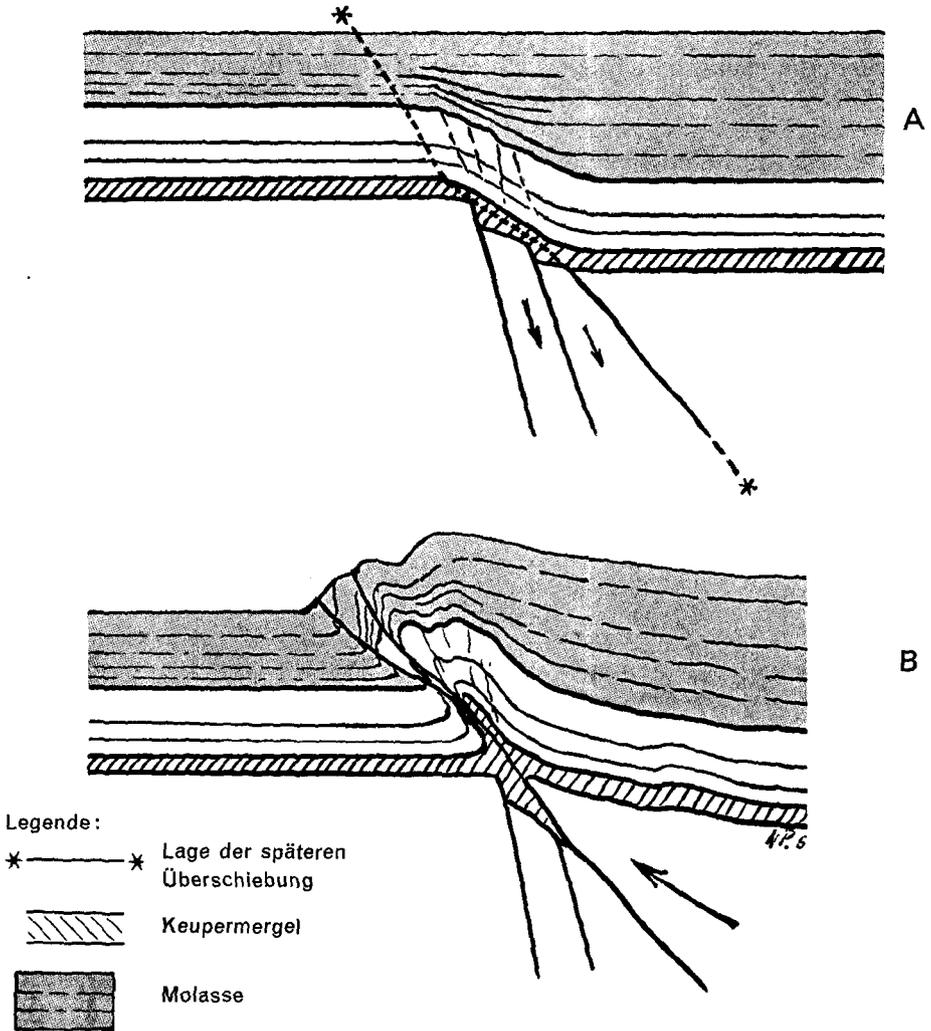
2. Die Beziehungen zwischen den synsedimentären Vorgängen im Molassetrog und dem Bau des Faltenjura

Bereits weiter oben haben wir auf die engen Beziehungen zwischen Paläogeographie, Stratigraphie und späterer Tektonik im Bereich der subalpinen Molasse, wie sie im Grunde überall vorhanden und natürlich gegeben sind, hingewiesen. Die Flexuren am Ostende des Faltenjura und am NW-Rand des Molassetroges gegen den Tafeljura hin haben wir in ihrer Anlage als synsedimentäre Knickzonen gedeutet. Die Knickzonen sind wahrscheinlich, wie schon erwähnt, durch Brüche im tieferen Untergrund unter den plastischen Keupermergeln bedingt (vgl. Abb. 12, S. 300). Über den Keupermergeln kam es zu flexurartigen Verbiegungen.

Es liegt nun nichts näher als die Vermutung, dass bei der erneuten Zusammenpressung gerade die alten Bruchflächen und somit die Knickzonen in umgekehrtem Sinn aktiviert wurden. Beispiele ähnlicher Art hat vor wenigen Jahren R. STAUB (1942) aus dem Briançonnais namhaft gemacht. Entlang ausgesprochenen Knickzonen am Aussenrand des Molassebeckens wurden die Sedimente so zu Falten aufgestaut. Damit in engstem direktem Zusammenhang steht die Hebung des Molasselandes.

Als schönes Beispiel sei die Lägernfalte genannt, an deren Stelle ursprünglich sicher eine synsedimentäre Knickzone verlief, wie aus den Mächtigkeitsunterschieden des Aquitans im N und S der Lägern hervorgeht. In unserem Sinne wäre somit der Innenrand des Jurabogens durch eine ältere synsedimentäre Knick- oder Bruch-Tektonik am Aussenrand des Molassebeckens bedingt. Es ist die ursprüngliche, bogenförmige Anlage der Knickzonen, die den bogenförmigen Verlauf und die Lage des Faltenjura vor allem bestimmte. Auch das deckt sich z. T. mit Vorstellungen, die R. STAUB (1952, 1953, 1954) für die Anlage des Alpenbogens entwickelt hat.

Damit ergibt sich auch hier, dass es vorwiegend die dem Molassebecken eigene Tektonik war, die für die heutige tektonische Begrenzung des Molasselandes im NW wie im SE entscheidend war. Das Molassebecken ist als mächtiges Senkungsfeld an der Gestaltung der Tektonik sowohl im Jura wie in der subalpinen Molasse viel stärker beteiligt als das heute im allgemeinen angenommen wird. Es hat in diesem Sinne schon früh aktiv am tektonischen Geschehen mitgewirkt.



Zu A: Den scharf ausgeprägten und relativ steil abfallenden Knickzonen am NW-Rand des Molassebeckens entsprechen im tiefen Untergrund Brüche von unterschiedlicher Steilheit. Die Absenkung erfolgte zur Hauptsache entlang den steilstehenden Verwerfungen.

Zu B: Die Aufschiebung erfolgte entlang den schiefstehenden Brüchen. Nach oben «zugespitzte» Schollen, zwischen steilen und schiefen Brüchen, verblieben in ihrer Lage oder wurden hinabgepresst.

Abb. 12 Entstehung einer Jurafalte entlang einer synsedimentären Knickzone. Mit Hilfe eines Systems verschieden steil stehender Brüchen lassen sich sämtliche Erscheinungen im Sedimentationsbild wie auch im tektonischen Bild (Lage und Verlauf der Falten, Krustenverkürzung, Hebung) zwanglos erklären.

3. Die Zerbrechungsphase und die spätere Talbildung

Die Zerbrechungsphase der Zürcher Molasse folgte auf die Faltungsphase derselben, denn das ursprüngliche Faltenbild wird durch die Brüche zerschnitten. Auch die Erlenbacher Flexur ist an der östlichen Zürichseeverwerfung abgeschnitten. Das ursprüngliche Faltenbild der Zürcher Molasse wies noch keinerlei Grundzüge der heutigen Zürichseelandschaft auf. Es allein hätte niemals zur Entstehung der heutigen Landschaft geführt. Es war die Zerbrechungsphase, welche die wesentlichen Züge der heutigen Zürichseelandschaft geschaffen hat. Es ist geradezu erstaunlich, wie weitgehend die Übereinstimmung zwischen Bruchtektonik und heutigem Landschaftsbild ist, obwohl das Zürichseetal und seine Umgebung seither noch eine sehr wechselvolle Geschichte durchgemacht haben. Entscheidend war der Einbruch, der zum Graben des heutigen unteren Zürichseetales (Zürichtalgraben) geführt hat und der schliesslich auch die charakteristische bumerangähnliche Form des Zürichsees bestimmt hat. Allerdings war ja auch im Gebiet des östlichen Glattales der Untergrund grabenartig eingesunken. Den Hintergrund beider Grabenzonen bildete die Käpfnach-Grüninger-Antiklinale, die als natürliche Aufwölbung zusammen mit der Längsmulde der Wädenswiler Synklinale zunächst Anlass für die Entstehung einer ausgesprochenen Längstalung (Ricken-Obersee-Baar) parallel zum Alpenrand gab. Diese Längstalung hat während langer Zeit bestanden. Ihre breite Form ist auch heute noch zu erkennen in der Depressionszone Richterswil-Baar.

Vor dem eigentlichen Durchbruch des Zürichtales durch die Käpfnach-Grüninger-Antiklinale hat das Glattal weit über den Obersee hinaus sein Einzugsgebiet im Abschnitt der heutigen Linth gehabt. Dieses Linth-Glatt-Tal hat auch bereits die primäre Längstalung zerteilt, indem der Teil Ricken-Obersee zum Glattal tributär wurde. Nachdem dann — infolge Tieferlegung der Erosionsbasis des Zürichtales gegenüber dem Glattal — vom Zürichtal her der eigentliche Durchbruch durch die Käpfnach-Grüninger-Antiklinale erfolgt war, wurde dem ursprünglichen Linth-Glatt-Tal das ganze Einzugsgebiet entzogen, die neue Rinne aber um so kräftiger eingetieft bis weit ins Linthtal und Walenseetal hinein. Der Einbruch des Zürichtales ins Linth-Glatt-Tal erfolgte sicher vor der letzten, wenn nicht schon vor der vorletzten Eiszeit. Linth- und Rheingletscher haben die durch die Flüsse vorgezeichneten Täler in starkem Masse verbreitert, durch ihre Aktivität auch die Gehänge direkt bearbeitet und so die zahlreichen, durch fluviatile Erosion nicht erklärbaren Detailformen geschaffen (N. PAVONI, 1953, 1956c). Die Übertiefung des Zürichseebeckens wie auch des Greifenseebeckens ist auf die Gletschererosion zurückzuführen. Warum das Zürichseebecken nicht oder nur teilweise mit fluvioglazialen Material aufgefüllt wurde, während im Bereich der Linthebene die Schottermassen über 230 m mächtig sind, hat R. STAUB (1942) in überzeugender Weise mit der Existenz mächtiger Toteismassen erklärt. Diesen Eismassen, die noch lange Zeit

nach dem eigentlichen Rückzug des Linthgletschers im Becken liegen blieben und es so vor Aufschotterung bewahrten, ist es zu verdanken, wenn heute der einzigartig schöne See mit seinem Glanz das weite Tal erfüllt.

VI. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit behandelt die Geologie der OSM im Raume zwischen Glattal–Zürichseetal–Sihltal–Reppischtal.

Zur Lithologie und Fazies

Die OSM ist im Untersuchungsgebiet in einer Mächtigkeit von 600 m abgeschlossen. Die tiefsten Schichten im Kern der Käpfnach-Grüninger-Antiklinale am mittleren Zürichsee liegen etwa 120 m unter dem Niveau des Meilener Kalkes (= Niveau des «Appenzeller Granites»), somit hier noch 200–300 m über der OMM. Die höchsten Schichten finden wir am Üetliberg (Üetliberg-Schichten). Die Üetliberg-Schichten gehören wohl zu den höchsten Schichten der OSM im schweizerischen Mittelland überhaupt. Zwischen den tiefsten und den höchsten Schichten der Zürcher Molasse lassen sich in der faziellen Ausbildung der Gesteine keine wesentlichen Unterschiede feststellen. Die Sedimentation der Zürcher Molasse erfolgte auf einer weit ausgedehnten, äusserst flachen Schwemmlandebene, welche nur wenig über Meeresniveau lag. Eindeutig marine Ablagerungen konnten nicht gefunden werden.

Wir unterscheiden:

1. Die Gesteine der Rinnenfazies (rein fluviatiler Entstehung)
2. Die Gesteine der Überschwemmungsfazies
3. Die Gesteine limnischer Fazies
4. Rein terrestrische Bildungen

Der grösste Teil der Sedimente der Zürcher Molasse sind Gesteine der Überschwemmungsfazies und der Rinnenfazies. Die Zürcher Molasse ist eine limno-fluviatile Bildung mit häufigen terrestrischen Anzeichen.

Der heute geltenden Auffassung: Nagelfluhen und Sandsteine = Ablagerungen aus Perioden mit starker Schüttungsintensität, Mergel = Ablagerungen aus Perioden mit geringer Schüttungsintensität, können wir nicht beipflichten. Sehr viele Sandsteine und Nagelfluhen gelangten in Zeiten ruhiger Sedimentation zum Absatz. Der grösste Teil der Mergel und Mergelsandsteine aber sind rasch abgelagerte Sedimente aus Zeiten starker Schüttungsintensität.

Sedimentation

Als Ausgleichsbewegung zu den isostatischen Hebungen in den Alpen kam es zu ständigen Absenkungen im Molassevorland.

Bei den synsedimentären Absenkungen handelt es sich nicht um ein gleichmässiges «Abbiegen» des gesamten Vorlandes, wie das heute allgemein ange-

nommen wird, sondern um ein «Abknicken» bestimmter Teilgebiete (Teilschollen) des Vorlandes entlang relativ eng begrenzter Knickzonen, welche im allgemeinen mehr oder weniger parallel zur Trogachse verlaufen.

In diesen abgesenkten Teilen der Schwemmlandebene (Immersionsgebiete) kam es in erster Linie zur Ablagerung von frischem Geschiebematerial, während die nicht abgesenkten Gebiete trocken lagen und der Verwitterung ausgesetzt waren. Die Absenkungen und letzten Endes Lage und Verlauf der Knickzonen haben das Sedimentationsbild im Molassetrog weitgehend bestimmt.

Den Knickzonen müssen im tieferen Untergrund Brüche entsprechen, welche das Vorland in Teilschollen gliedern. Diese synsedimentär angelegten Teilschollen und ihre relativen Bewegungen an den Knickzonen sind von allergrösster Bedeutung einerseits für den Sedimentationsverlauf der Molasse, andererseits aber auch für die spätere Tektonik des Molassebeckens, indem durch den alpinen Zusammenschub im Pliozän gerade diese Brüche erneut aktiviert wurden. Insbesondere die Aufgliederung der subalpinen Molasse in verschiedene Teilschollen und der NW-Rand des Molassebeckens sind durch solche Brüche vorgezeichnet.

Stratigraphie

Es sind vor allem limnische Ablagerungen, Kalke, Glimmersandsteine und Glimmermergel, ferner Sandsteine und Nagelfluhschüttungen, die sich durch ihre petrographische Beschaffenheit (Hüllisteiner Nagelfluh, Ophiolith-Nagelfluhen) von den gewöhnlichen Molasse-Nagelfluhen und -Sandsteinen unterscheiden, welche innerhalb der monotonen Gesteinsserien gute Leithorizonte darstellen.

Es ist vor allem ein Horizont: Das Niveau des «Appenzeller Granites» (Hüllisteiner Nagelfluh, Meilener Kalk und Meilener Sandstein), welcher uns letzten Endes den Schlüssel nicht nur für die stratigraphischen Zusammenhänge in unserem Untersuchungsgebiet, sondern auch für die stratigraphischen Zusammenhänge der Zürcher Molasse der OSM der Ostschweiz geliefert hat. Während die Hüllisteiner Nagelfluh mit zunehmender Entfernung vom Hörnli-schuttfächer allmählich aussetzt (Auftreten in vereinzelt Rinnen), ziehen Meilener Kalk und Meilener Sandstein unverändert durch (limnische Bildungen). Es gelang uns, das Niveau auch am NW-Rand des Molassebeckens aufzufinden (Schlieren, Dietiker Hohnert, Seebach, Greppe E Wettingen). Damit konnte erstmals ein scharf begrenzter Horizont in der tieferen OSM eindeutig vom SE-Rand des Molassetroges (Feldbach-Wädenswil) bis zur Lägern hin (Greppe) verfolgt werden. Das Niveau besitzt allein aus den bis jetzt bekannten Vorkommen eine Ausdehnung von 1500 km². In der Zürcher Molasse konnten verschiedene Nagelfluh- und Sandsteinhorizonte gefunden werden, welche auffällig viel ophiolithisches Material (Albispass-Nagelfluh bis 65 %) und rote Hornsteine führen. Ophiolithisches Material kann überall in den Nagelfluhen und Sandsteinen der Zürcher Molasse beobachtet werden und ist in seinem Vorkommen nicht an eine bestimmte Stufe der Zürcher Molasse gebunden.

Stratigraphischer Vergleich mit der OSM der Ostschweiz

Der Ophiolith-Nagelfluhhorizont vom Sihlzipf, der in der Zürcher Molasse über Hunderte von Quadratkilometern ausgedehnt ist, entspricht in seiner stratigraphischen Lage (Lage über dem «Appenzeller Granit») der Ophiolith-Nagelfluh, welche F. HOFMANN (1951) am Nollen beschreibt. Mit Hilfe des Niveaus des Meilener Kalkes, des Vorkommens von verkieseltem Schwemmh Holz im Klaustobel bei Feldbach und des Ophiolith-Nagelfluhhorizontes vom Sihlzipf ergibt sich ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Zürcher Molasse und OSM.

Im Küsnachter Tobel konnte 1955 ein vulkanischer Tuffhorizont entdeckt werden. Es handelt sich um einen verwitterten, sauren Glasaschentuff (Bentonit). Damit konnten zum erstenmal vulkanische Ablagerungen in unserem Untersuchungsgebiet nachgewiesen werden. Durch seine Lage über dem Niveau des «Appenzeller Granites» und unter dem Ophiolith-Nagelfluhhorizont vom Sihlzipf erweist sich der Tuff als gleichaltrig mit dem vulkanischen Tuffhorizont von Bischofszell, wofür auch die petrographische Ausbildung spricht. Damit ist auf stratigraphischem Wege, dem letzten Endes einzigen eindeutigen Weg der Beweisführung, auch die Identität der Tuffvorkommen zwischen Reuss und Reppisch mit demjenigen von Bischofszell bewiesen.

Gliederung der Zürcher Molasse

Mit Hilfe der Leithorizonte und der Immersionsphasen lässt sich eine lithologisch-tektonische Gliederung der monotonen Serien der Zürcher Molasse durchführen (von oben nach unten):

3. Obere Abteilung der OSM	Üetliberg-Schichten Pfannenstiel-Schichten
2. Mittlere Abteilung der OSM	Zürich-Schichten Meilener Schichten
1. Untere Abteilung der OSM	Schichten zwischen Meilener Kalk und OMM

Die süddeutschen Stufenbezeichnungen in der OSM können für die Zürcher Molasse nicht angewendet werden.

Wie wir erstmals nachweisen konnten (N. PAVONI, 1956a), gibt es in der OSM keine «Glimmersandsteinstufe» (sogenannte Steinbalmensande). Glimmersandsteine treten in allen Stufen der OSM (Meilener bis Üetliberg-Schichten) auf. Ihr Vorkommen ist auch nicht auf ein Gebiet N der Linie Lägern-Konstanz beschränkt wie F. HOFMANN (1955b) annimmt.

Alter der Zürcher Molasse

Der Vergleich mit den Ergebnissen der geologischen Untersuchungen im süddeutschen Molassebecken und im Hegau ergäbe folgende altersmässige Gliederung der Zürcher Molasse:

Üetliberg-Schichten	}	Pont
Pfannenstiel-Schichten		Sarmat
Zürich-Schichten		
Meilener Schichten		Torton

Die reichhaltige Fauna der Säugetierfundstelle im Sagentobel ergibt tortones Alter. Sie liegt im mittleren Abschnitt der Zürich-Schichten. Damit ergibt sich ein Widerspruch mit der von den süddeutschen Autoren aufgestellten Gliederung.

Tektonik der Zürcher Molasse

Die Zürcher Molasse zeigt als Grundmotiv einen ursprünglichen, einfachen Faltenbau mit auffällig konstantem WSW-ENE-Streichen, d. h. parallel zur Längserstreckung des Molassetroges. Die Üetlibergmulde, wahrscheinlich aber auch die Käpfnach-Grüninger-Antiklinale und die Wädenswiler Synklinale sind bereits synsedimentär angelegt worden. Im Gefolge von Zerrungen (Zerbrechungsphase) wurde das einfache Faltenbild durch Brüche und Flexuren in eine Reihe von Horst- und Senkungszone zerlegt: Reusstalsenke-Albis-horst-Zürichtalgraben-Pfannenstiel-Zürichberghorst-Glattalgraben.

Summary

The geology of the Upper Freshwater Molasse (Obere Süßwassermolasse = OSM) of the region of Zurich has not been studied in detail so far. In the present paper the author summarizes the results of his investigations carried out from 1951 to 1956 in the OSM W and E of the Lake of Zurich as well as in the wider region of Zurich. A short geographical and geological survey of the area examined (s. plate V) and a chapter on the history of geological investigation in the OSM serve as an introduction to the geological problems of the Molasse of Zurich. The term Molasse of Zurich signifies the whole of the Upper Freshwater Molasse of the Canton of Zurich and its environs, in a more restricted sense the OSM around Zurich and the Lake of Zurich.

From top to bottom the monotonous series, which could be observed in 600 m thickness, show no difference in facies and lithology. All these series were deposited on the very flat lying Piedmont plain N of the Tertiary Alps. Though no real marine sediments could be found, there can be no doubt that all the sediments of the Molasse of Zurich were deposited little above sea level. From this it may be seen that the Piedmont plain was subsiding *pari passu* with the sedimentation. 75 % of the series are inundation sediments (most of the sterile marls, sandy marls and marly sandstones). The rest are deposits in flat rivers (most of the Knauersandstones and conglomerates) or shallow lakes (generally limestones, fine bedded marls and well cleansed sandstones rich in mica = Glimmersandsteine) sedimented during long quiet periods of practically no sedimentation or even partial erosion. Typical signs of primary weathering, fossil soils

etc. are therefore common. The general opinion, that sandstones and conglomerates are only deposited during periods of intensive sedimentation and marls in quiet periods, could be proved incorrect in many cases, as most of the inundation sediments are more or less marly. One peculiarity, a small volcanic tuff layer was discovered near Künsnacht, the first sign of Miocene volcanism in the region surveyed (s. p. 171).

It was possible to trace some characteristic horizons over great distances. The most important of these horizons characterized by three unique Units, the black Conglomerate of Hüllistein, the Sandstone of Meilen and the Limestone of Meilen, extends at least 1500 km² (s. p. 252 and plate V). For the first time it was possible to trace a definite horizon within the OSM from the SE to the NW border of the molasse basin (s. fig. 11, p. 295). It was this horizon in conjunction with others (certain conglomerates rich in ophiolitic components, lacustrine limestones, volcanic tuff horizon, s. p. 253), which enabled us to compare the Molasse of Zurich with the OSM of the E part of the Swiss molasse basin as well as with the Upper Freshwater Molasse NE and N of the Lake of Constance. In a strict stratigraphical way it could be proved that the volcanic tuff near Künsnacht is identical with the tuff of Bischofszell (S of Constance).

It was not possible to adopt the division the German geologists use for the OSM in the Hegau and NE of the Lake of Constance. The Molasse of Zurich lies within the SW range of the mouth of the Tertiary Rhine on the Piedmont plain, thus in quite different environs. There is e. g. no definite "Glimmersandstufe" (so called "Steinbalmensande"). Typical Glimmersands (micasands) occur in all stratigraphical positions within the OSM even on the top of the Upper Uetliberg Series. The material of the Glimmersands represents Alpine material selected by transportation.

In consideration of the synsedimentary immersions and characteristic horizons we can distinguish from top to bottom (see also plate III, IV):

- Upper section of the OSM: Uetliberg Series
Pfannenstiel Series
- Middle section of the OSM: Zurich Series
Meilen Series

The Lower section of the OSM crops out only partially in the area surveyed and was thus not studied in detail. The geological age of the Meilen Series-Uetliberg Series is Tortonian-Pontian. A rich find of small fossil vertebrates in the Sagentobel near Zurich (s. p. 176) proved the lower part of the Zurich Series to be Upper Vindobonian (Tortonian).

The tectonics of the Molasse of Zurich (s. plate I, II) are much more complicated than it was formerly believed. There is a folding in the molasse which is in part already determined by synsedimentary immersions. From NW-SE:

1. Uetliberg Syncline
2. Anticline of Käpfnach-Grüningen
3. Wädenswil Syncline

All these structures trend WSW–ENE, parallel to the axis of the molasse basin. Because of its great extension and its position near the border of the Subalpine Molasse the Anticline of Käpfnach–Grünungen is the most interesting structure in regard to the possibilities of oil in the E half of the Swiss Molasse Basin (s. p. 273, 287). In a later tectonical phase the picture caused by folding was disturbed by fractures and flexures, most of them trending NNW–SSE and NW–SE (s. also fig. 9, p. 283). The biggest displacement is the Albis-Fold. It shows up to 150 m relief.

The detailed investigations led to a new conception of how the molasse series were sedimented (s. plate III and fig. 10, p. 292). It was not a general “curving down” of the whole Piedmont plain, as is the prevailing opinion, by which the subsidence of the molasse basin was caused. The filling up of the basin was determined step by step by a great number of relatively small immersions of definite areas within the Piedmont plain (Immersionengebiete) along definite “Knickzonen” mostly parallel to the axis of the basin. It was in these areas of immersion, which sank down as stable blocks, that the main sedimentation took place. The result is quite a new picture of sedimentation, which explains without difficulty all the facts observed: differences in thickness, conformity within big areas, different density in certain areas caused by different weathering, “stepped” trend of the characteristic horizons etc.

Corresponding to the “Knickzonen” we must suppose zones of fractures in the deeper underground, which had been active several or many times during the sedimentation. The whole basin was thus divided in “Knickzonen” and stable areas (blocks) of immersion. The zones of fracturing played a decisive rôle not only during the sedimentation but also during the folding of the basin, as just the same fractures were moved again by the Pliocene Alpine pressure. They were especially important for the limitation of the tectonical units in the Subalpine Molasse and the final position of the actual NW border of the molasse basin towards the Jura Mountains (s. fig. 12, p. 300). The close relation between subsidence, sedimentation and later tectonics is of impressive simplicity.

Literaturverzeichnis

Texte

- ABELE, G., FUCHS, B. und STEPHAN, W. (1955): Die westliche bayerische Vorlandmolasse. Erläuterungen z. geol. Übersichtskarte der süddeutschen Molasse. München.
- AEPPLI, AUG. (1894): Erosionsterrassen und Glazialschotter in ihrer Beziehung zur Entstehung des Zürichsees. Diss. Univ. Zürich.
- ALTHAUS, H. und RICKENBACH, E. (1947): Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz. Beitr. Geotechn. Serie, Lief. 26, 1. Teil.
- AMSLER, A. (1915): Tektonik des Staffelegg-Gebietes. Diss. Univ. Zürich. Ecl. geol. Helv., Vol. 13, Nr. 4.
- BAUMBERGER, E. (1929): Die Deutung des Rigi- und Rossbergprofils auf Grund neuer Fossilfunde. Verh. Naturf. Ges. Basel, Bd. 40.
- (1934): Die Molasse des schweizerischen Mittellandes und Juragebirges. Geol. Führer d. Schweiz, Fasc. I, Basel.
- BERSIER, A. (1945): Sédimentation molassique: Variations latérales et horizons continus à l'Oligocène. Ecl. geol. Helv., Vol. 38, Nr. 2.
- (1950): Les sédimentations rythmiques synorogéniques dans l'avantfosse molassique alpine. Intern. Geol. Congress 1948, Part IV, Proceedings of Section C, London.
- BODENBURG-HELLMUND, H. W. (1909): Die Drumlinlandschaft zwischen Pfäffiker- und Greifensee. Vierteljahrsschr. d. Naturf. Ges. in Zürich, Jg. 54.
- BRAUN, E. VON (1953): Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Hochrheingebiet zwischen Zurzach und Eglisau. Ecl. geol. Helv., Vol. 46, Nr. 2.
- BÜCHI, U. (1950): Zur Geologie und Paläogeographie der südlichen mittelländischen Molasse zwischen Toggenburg und Rheintal. Diss. Univ. Zürich.
- (1956): Über ein Vorkommen von Montmorillonit in der zürcherisch-aargauischen Molasse. Bull. Ver. Schweiz. Petrol-Geol. und Ing., Vol. 22, Nr. 63.
- BÜCHI, U. und HOFMANN, F. (1945a): Über das Vorkommen kohlig-kieseligter Schichten und verkieselter Baumstämme in der obern marinen Molasse von St. Gallen. Ecl. geol. Helv., Vol. 38, Nr. 1.
- (1945b): Die obere marine Molasse zwischen Sitter-Urnäsch und dem Rheintal. Ecl. geol. Helv., Vol. 38, Nr. 1.
- (1945c): Spuren vulkanischer Tätigkeit im Tortonien der Ostschweiz. Ecl. geol. Helv., Vol. 38, Nr. 2.
- (1954): Telemagmatische Gänge in der untern Kreide des Säntisgebirges. Ecl. geol. Helv., Vol. 47, Nr. 2.
- BÜCHI, U. und WELTI, G. (1950): Zur Entstehung der Degersheimer Kalknagelfluh im Tortonien der Ostschweiz. Ecl. geol. Helv., Vol. 43.
- (1951): Zur Geologie der südlichen mittelländischen Molasse der Ostschweiz zwischen Goldinger Tobel und Toggenburg. Ecl. geol. Helv., Vol. 44, Nr. 1.
- BÜRKL, A. und ESCHER VON DER LINTH, ARN. (1871): Die Wasserverhältnisse der Stadt Zürich. Neujaahrsblatt der Naturf. Ges. in Zürich auf das Jahr 1871.
- BUXTORF, A., KOPP, J. und BENDEL, L. (1941): Stratigraphie und Tektonik der aufgeschobenen subalpinen Molasse zwischen Horw und Eigenthal bei Luzern. Ecl. geol. Helv., Vol. 34, Nr. 1, S. 135—154, Taf. 8—10, Basel.
- BUXTORF, A. und KOPP, J. (1943): Über das Unterstampien der Rigi und über Querbrüche in der Molasse zwischen Vierwaldstättersee und Zugersee. Ecl. geol. Helv., Vol. 36, Nr. 2, S. 291—301, Basel.
- CADISCH, J. (1923): Beitrag zur Entstehungsgeschichte der Nagelfluh. Ecl. geol. Helv., Vol. 18, Nr. 2, S. 222—227, Basel.
- (1928): Das Werden der Alpen im Spiegel der Vorlandsedimentation. Geol. Rundschau, 19, S. 105—119, Berlin.

- CADISCH, J. (1930): Geologische Beobachtungen im Molassegebiet zwischen Linth und Thur. *Ecl. geol. Helv.*, Vol. 23, S. 567—571.
- (1953): Geologie der Schweizeralpen. Wepf & Co., Basel.
- DEHM, R. (1951): Zur Gliederung der jungtertiären Molasse in Süddeutschland nach Säugetieren. *Neues Jb. f. Min. etc.*, Abt. B, Monatshefte Jg. 1951, H. 5, S. 140—152, Stuttgart.
- EBEL, J. G. (1808): Über den Bau der Erde in dem Alpengebirge etc. 2 Bde. Zürich (Orell Füssli).
- EBERLE, J. (1896): Über das Vorkommen von Molassekohlen im Kanton Thurgau. *Mitt. Thurg. Naturf. Ges.*, 12, Frauenfeld.
- (1900): Aus der Geologie des Kantons Thurgau. *Mitt. Thurg. Naturf. Ges.*, 14, Frauenfeld.
- ELBERSKIRCH, W. und LEMCKE, K. (1953): Zur Tektonik der nordalpinen Molassesenke. *Z. d. D. Geol. Ges.*, Bd. 105, S. 307—323.
- ERNI, A. und KELTERBORN, P. (1948): Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz. *Beitr. z. Geol. d. Schweiz, Geotech. Serie, Lief. 26, T. 2.*
- ESCHER VON DER LINTH, ARN. (1844): Geologischer Umriss des Kantons Zürich (Gemälde der Schweiz, G. MEYER VON KNONAU: Der Kanton Zürich).
- (1847): Bemerkungen über das Molassegebilde der östlichen Schweiz. *Mitt. d. Naturf. Ges. Zürich, Heft I, Nr. 7, p. 97—112.*
- (1853): Geologische Bemerkungen über das nördliche Vorarlberg und einige angrenzende Gegenden. *Neue Denkschr. allg. schweiz. Ges. gesamt. Naturw.*, Basel.
- (1854): Das Molassegebilde in der östlichen Schweiz. *Verh. st. gall.-app. gemeinnütz. Ges.*
- (1854): *Verh. Schw. Naturf. Ges.*, 39, S. 40—41, St. Gallen (ohne Titel).
- Geologische Tagebücher, deponiert im Geologischen Institut E.T.H., Zürich.
- ESCHER VON DER LINTH, ARN. und HEER, O. (1847): Übersicht der geologischen Verhältnisse der Schweiz und über die Harmonie der Schöpfung. Zürich.
- ESCHER VON DER LINTH, A. und MOUSSON, A. (1862): Siehe MOUSSON, A.
- ESCHER VON DER LINTH, H. C. (1806): Geognostische Übersicht der Alpen in Helvetien. *Alpina I.*
- (1807): Profilreise von Zürich bis an den Gotthard. *Alpina II.*
- (1791—1822): Geologische Tagebücher, deponiert im Geologischen Institut der E.T.H., Zürich.
- ESCHER-HESS, G. (1907): Mikroskopische Untersuchung einiger Sedimente, Trias-Lias. Zürich.
- FALKNER, CH. und LUDWIG, A. (1903): Beiträge zur Geologie der Umgebung St. Gallens. *Jahrb. der naturw. Gesellschaft St. Gallen.*
- FREI, R. (1912): Monographie des schweizerischen Deckenschotter. *Beitr. z. geol. Karte der Schweiz, N. F.*, 37, Lief., p. 1—182.
- (1914): Geologische Untersuchungen zwischen Sempachersee und oberem Zürichsee. *Beitr. z. geol. Karte der Schweiz, N. F.*, 45, Lief.
- FREULER, G. (1936): Bericht über die Exkursion E. *Ecl. geol. Helv.*, Vol. 28, 2, 1935, 414—435, Basel.
- FRIEDL, K. (1927): Das Wiener Becken. *Verh. der Geol. Bundesanstalt Wien.*
- FRÖHLICHER, H. (1933): Geologische Beschreibung der Gegend von Escholzmatt im Entlebuch (Kt. Luzern). *Beitr. z. geol. Karte der Schweiz, N. F.*, Lief. 67.
- FRÜH, J. (1888): Beiträge zur Kenntnis der Nagelfluh der Schweiz. *Neue Denkschrift d. allg. schw. Ges. f. d. ges. Naturw.*, 30, 1, Zürich.
- (1919): Zur Morphologie des Zürcher Oberlandes. *Vierteljahrsschr. d. Naturf. Ges. in Zürich*, 64, Jg.
- (1930): *Geographie der Schweiz. Bd. I.*
- FÜCHTBAUER, H. (1953): Die Sedimentation der westlichen Alpenvorlandmolasse. *Z. d. D. Geol. Ges.*, Bd. 105, S. 527—530.
- (1954): Transport und Sedimentation der westlichen Alpenvorlandmolasse. *Heidelberger Beitr. z. Min. u. Petr.*, 4.

- GAGNEBIN, E. (1945): Quelques problèmes de la tectonique d'écoulement en Suisse orientale. Bull. Soc. vaud. sc. nat., 62, Nr. 263, Lausanne.
- GANSS, O. (1953): Das süddeutsche Molassebecken — ein Überblick. Z. d. D. Geol. Ges., Bd. 105, 3. Teil 1953, S. 303—306.
- GANSS, O. und SCHMIDT-THOME, P. (1953): Die gefaltete Molasse am Alpenrand zwischen Bodensee und Salzach. Z. d. D. Geol. Ges., Bd. 105, 3. Teil 1953, S. 402.
- GEIGER, E. (1933): Petrographie der Molasse. Mitt. Thurg. Naturf. Ges., 29, Frauenfeld.
— (1943): Erläuterungen zu Blatt 16 (Pfyn, Märstetten, Frauenfeld, Bussnang) des geol. Atlas der Schweiz.
- GEOLOGISCHE EXKURSIONEN in der Umgebung von Zürich. Herausgegeben v. d. Geol. Ges. in Zürich, 1946.
- GEOLOGISCHER FÜHRER DER SCHWEIZ, Fasc. XII. Herausgegeben von der Schweiz. Geol. Ges., 1934.
- GIGNOUX, M. (1950): Géologie stratigraphique, Masson & Co., Paris.
- GOGARTEN, E. (1910): Über alpine Randseen und Erosionsterrassen, im besondern des Linththales. Diss. Univ. Zürich.
- GREENER, P. (1954): Schweremessungen nordwestlich von Zürich und ihre geologische Interpretation. Ecl. geol. Helv., Vol. 47, Nr. 1.
- GRUNER, G. S. (1775): Die Naturgeschichte Helvetiens in der alten Welt. Bern.
- GUTZWILLER, A. (1877): Molasse und jüngere Ablagerungen, enthalten auf Blatt IX des eidg. Atlas. Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz, 14. Lief., I. Teil, Bern.
— (1883): Molasse und jüngere Ablagerungen, enthalten auf Blatt IV und V des eidg. Atlas. Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz, 19. Lief., I. Teil, Bern.
- HABICHT, K. (1938): Zur Kenntnis der innern subalpinen Molasse zwischen Toggenburg und Sitter. Mit einer Textfigur. Ecl. geol. Helv., Vol. 31, Nr. 2.
— (1943): Zur Geologie der subalpinen Molasse zwischen Zugersee und Rheintal. Ecl. geol. Helv., Vol. 36.
— (1945a): Geologische Untersuchungen im südlichen sanktgallisch-appenzellischen Molassegebiet. Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz, N. F., 83. Lief.
— (1945b): Neuere Beobachtungen in der subalpinen Molasse zwischen Zugersee und dem st. gallischen Rheintal. Ecl. geol. Helv., Vol. 38, 1, S. 121—149, Taf. 6, Basel 1945.
- HALBERTSMAA, H. L. (1944): Kohlenpetrographische Untersuchungen an zürcherischen Molassekohlen. Diplomarbeit E.T.H., Zürich (Manuskript).
- HANTKE, R. (1952): Gliederungsversuch der Oberen Süsswassermolasse im Gebiet der Hörnlichüttung. Ecl. geol. Helv., Vol. 46, 1.
— (1953): Die fossile Flora der obermiözänen Oehninger Fundstelle Schrotzburg (Süd-Baden). Diss. E.T.H., Zürich.
- HAUS, H. (1937): Geologie der Gegend von Schangnau im oberen Emmental (Kanton Bern). Beitr. z. Geol. Karte d. Schweiz, N. F. 75, Bern. Diss. Univ. Basel.
— (1951): Zur paläogeographischen Entwicklung des Molassetroges im Bodenseegebiet während des mittleren Miozäns. Mitt. bad. geol. L.-A. f. 1950.
- HEER, O. (1855—1859): Flora tertiaria Helvetiae. Winterthur.
— (1865): Die Urwelt der Schweiz. Zürich.
- HEIM, ALB. (1891): Die Geschichte des Zürichsees. Neujahrsbl. Naturf. Ges. Zürich auf das Jahr 1891.
— (1894): Die Entstehung der alpinen Randseen. Vierteljahrsschr. d. Naturf. Ges. in Zürich, Jg. 39.
— (1894): Geologie der Umgebung von Zürich. Intern. Geol. Kongress in Zürich.
— (1914): Der Uto. Jahrb. Schweizer Alpenclub, 49. Jahrg.
— (1919—1922): Geologie der Schweiz. Leipzig.
- HEIM, ARN. und HARTMANN, H. (1919): Untersuchungen über die petrolführende Molasse der Schweiz. Beitr. Geot. Serie, Bd. 6.
- HERBORDT, O. (1907): Geologische Aufnahme der Umgegend von Rapperswil-Pfäffikon am Zürichsee. Mit 2 Fig. und 2 Tafeln. Inaug. Diss. Univ. Zürich.

- HOFMANN, F. (1948): Bericht über die Exkursionen der Schweiz. Geol. Ges. in der Ostschweiz. Ecl. geol. Helv., Vol. 41, Nr. 1.
- (1951): Zur Stratigraphie und Tektonik des st. gallisch-thurgauischen Miozäns (Obere Süsswassermolasse) und zur Bodenseegeologie. Jahrb. d. St. Gall. Naturw. Ges., Bd. 74.
- (1952): Zur Stratigraphie und Tektonik des ostschweizerischen Mittellandes. In: SCHUPPLI, H. M.: Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz, IV, 9/10. Beitr. Geol. Karte d. Schweiz, Geot. Serie, 26/4.
- (1955 a): Neue geologische Untersuchungen in der Molasse der Nordostschweiz. Ecl. geol. Helv., Vol. 48, Nr. 1.
- (1955 b): Beziehungen zwischen Tektonik, Sedimentation und Vulkanismus im schweizerischen Molassebecken. Bull. Ver. Schweiz. Petrol-Geol. und Ing., Vol. 22, Nr. 62.
- (1945 a, b, c): Siehe BÜCHI, U. (1945 a, b, c).
- HOEHN-OCHSNER, W. (1935): Das Werden unseres Heimatbodens. Bilder aus der Geologie der Herrschaft Wädenswil. 5. Neujahrsblatt der Lesegesellschaft Wädenswil 1934.
- HOTTINGER, J. J. (1852): Hans Conrad Escher von der Linth; Charakterbild. Zürich.
- HUG, J. und BELICK, A. (1934): Die Grundwasserverhältnisse des Kantons Zürich. Beitr. z. Geol. Karte der Schweiz, Geotechn. Serie. Hydrologie, Lief. I.
- JEANNET, A. (1941): Geologie der oberen Sihltaler-Alpen (Kanton Schwyz). Ber. Schwyz. Naturf. Ges., 3, 1938—1940, S. 3—24, Taf. 1—6, Einsiedeln.
- JÖRG, E. (1953): Die Schichtenfolge der Fossilfundstelle Höwenegg (Hegau). (Pontische Mergel und Tuffite der Oberen Süsswassermolasse.) (1 Tafel) Jahresber. u. Mitt. Oberrhein. geol. Ver., Stuttgart. N. F., 35.
- KAUFMANN, F. J. (1860): Untersuchungen über die mittel- und ostschweizerische subalpine Molasse. Neue Denkschr. d. Schweiz. Naturf. Ges., Basel.
- (1872): Rigi- und Molassegebiet der Mittelschweiz, Beitr. 11, Bern.
- KLEIBER, K. (1937): Geologische Untersuchungen im Gebiet der Hohen Rone. Ecl. geol. Helv., Vol. 30, 2, S. 419—430, Basel.
- KOPP, J. (1934): Einige Resultate der geologischen Neuaufnahmen der Umgebung von Luzern. Ecl. geol. Helv., Vol. 27, 2, S. 330—339, Basel.
- (1945): Erläuterungen zu Atlasblatt 18 (Beromünster-Hochdorf-Sempach-Eschenbach) d. geol. Atlas der Schweiz.
- (1952): Die Erdölbohrung Altishofen. Bull. Ver. Schweiz. Petrol-Geol. und Ing., Vol. 19, Nr. 57.
- LAGOTALA, H. (1937): Région Morges-Yverdon-Estavayer-Lucens. Ber. PEK und des Büros f. Bergbau.
- LEMCKE, K. (1953): Zur Gliederung und Paläogeographie der ungefalteten Molasse im westlichen Alpenvorland. Z. d. D. Geol. Ges., Bd. 105, 3. Teil, S. 525—527.
- LEMCKE, K., ENGELHARDT, W. VON und FÜCHTBAUER, H. (1953): Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Westteil der ungefalteten Molasse des süddeutschen Alpenvorlandes. Beih. Geol. Jb., 11, Hannover.
- LETSCH, E. (1899): Die schweizerischen Molassekohlen östlich der Reuss. Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz, Geotechn. Serie, Lief. 1.
- LETSCH, E. und RITTER, E. (1925): Die schweizerischen Molassekohlen III. Beitr. Geotechn. Serie, Nr. 12.
- LEUPOLD, W., TANNER, H. und SPECK, J. (1943): Neue Geröllstudien in der Molasse. Ecl. geol. Helv., Vol. 35, Nr. 2, 1942.
- LIECHTI, W. (1928): Geologische Untersuchungen der Molassenagelfluhregion zwischen Emme und Ilfis (Kanton Bern). Diss. Univ. Bern. Beitr. z. Geol. Karte d. Schweiz, N.F. 61, Bern.
- LINIGER, H. (1925): Geologie des Delsbergerbeckens und der Umgebung von Movelier. Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz, N. F. 55.
- (1953): Zur Geschichte und Geomorphologie des nordschweizerischen Juragebirges. Geographica Helvetica, Bd. VIII, Nr. 4.
- LUDWIG, A. (1926): Aus dem ostschweizerischen Molassegebiet. Jb. St. Gall. Naturw. Ges., 62.
- (1930): Erläuterungen zu Atlasblatt 4 (Flawil-Herisau-Brunnadern-Schwellbrunn) d. geol. Atlas der Schweiz, 1 : 25 000.

- LUDWIG, A. (1934): Molasse St. Gallen–Appenzell. Geol. Führer der Schweiz. Fasc. XII, Exkursion Nr. 73 A. Basel.
- MOLLET, H. (1921): Geologie der Schafmatt–Schimberg–Kette und ihrer Umgebung (Kanton Luzern). Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz, N. F., Lief. 47.
- MOOS VON, A. (1934): Über einige metamorphe Mineralien in der Molasse. Verhandl. der SNG Zürich, 1934, S. 329–330.
- (1935): Sedimentpetrographische Untersuchungen an Molassesandsteinen. Mit 9 Fig. und 10 Tab. Schweiz. Min. u. Petr. Mitt., Bd. XV, p. 169–265.
 - (1936): Zur Petrographie der Quarzsande und magern Huppererde der Bohnerzformation im schweiz. Juragebirge. Schweiz. Min. u. Petr. Mitt., Bd. XVI.
 - (1944): Der Kohlenbergbau im Kanton Zürich. N.Z.Z. Techn. Beilage, Nr. 27/216.
 - (1945): Über ältere Setzungserscheinungen in schweizerischen Kohlelagerstätten. Ecl. geol. Helv., Vol. 38.
 - (1946): Die Kohlebohrungen bei Sihlbrugg und die Molassestrukturen um Zürich. Ecl. geol. Helv., Vol. 39.
 - (1947): Die zürcherischen Molassekohlen und ihre Ausbeutung 1941–1946. Vierteljahrsschrift d. Naturf. Ges. in Zürich, Bd. 92.
 - (1949): Der Baugrund der Stadt Zürich. Vierteljahrsschrift d. Naturf. Ges. in Zürich, Bd. 94.
- MOUSSON, A. (1840): Geologische Skizze der Umgebungen von Baden. Orell Füssli & Co., Zürich.
- MOUSSON, A. und ESCHER VON DER LINTH, A. (1862): Übersicht der Geologie des Kantons Zürich. Neujahrsblatt der Naturf. Ges. in Zürich.
- NIGGLI, P. (1948, 1951): Gesteine und Minerallagerstätten. Bd. I/II, Birkhäuser, Basel.
- NOTZ, W. (1924): Geologische Untersuchungen an der östlichen Lägern. Diss. Zürich.
- PAVONI, N. (1952): Molassestudien zwischen östlichem Pfannenstiel und der Jona. Diplomarbeit, deponiert Geologisches Institut E.T.H., Zürich (Manuskript).
- (1952): Geologie der Falätsche und die Bedeutung des limnischen Niveaus für die Zürcher Molasse. Vierteljahrsschrift d. Naturf. Ges. in Zürich, Bd. 97.
 - (1953): Die rückläufigen Terrassen am Zürichsee und ihre Beziehungen zur Geologie der Molasse. Geographica Helvetica, 3.
 - (1956 a): Zürcher Molasse und Obere Süswassermolasse der Ostschweiz, ein stratigraphischer Vergleich. Bull. Ver. Schweiz. Petrol-Geol. und Ing., Vol. 22, Nr. 63, S. 25 bis 32, 1 Textfig.
 - (1956 b): Das Niveau des «Appenzeller Granites» (Degersheimer Kalknagelfluh) und seine Ausdehnung in der Zürcher Molasse. Verh. d. Schweiz. Naturf. Ges., Pruntrut 1955, S. 122–124.
 - (1956 c): Molassetektonik, Terrassen und Schotter zwischen Glattal, oberem Zürichsee und Sihlthal. Verh. d. Schweiz. Naturf. Ges., Pruntrut 1955, S. 124–128.
- PENCK, A. und BRÜCKNER, E. (1909): Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig, Bd. II.
- PEYER, B. (1942): Fossile Riesenschildkröten aus der oberen Süswassermolasse der Umgebung von Zürich. Schweiz. Paläontolog. Abhandlg., Bd. 63, 1942, Serie Zoologie, Nr. 71.
- DE QUERVAIN, F. und GSCHWIND, M. (1934): Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. Herausgegeben v. d. Schweiz. Geotechn. Kommission. H. Huber, Bern.
- RAMSEYER, R. (1953): Geologie des Wistenlacherberges (Mont Vully) und der Umgebung von Murten (Kanton Freiburg). Ecl. geol. Helv., Vol. 45, Nr. 2.
- RENZ, H. H. (1937): Die subalpine Molasse zwischen Aare und Rhein. Preisarbeit der Univ. Zürich pro 1935/36. Mit 2 Taf. Ecl. geol. Helv., Vol. 30, p. 87–214.
- (1938): Zur Geologie der östlichen st. gallisch-appenzellischen Molasse. Jb. st. gall. naturw. Ges., 69.
- RUTSCH, R. (1928): Geologie des Belpberges. Diss. Univ. Bern. Mitt. Naturf. Ges. Bern, 1927, S. 1–194, Taf. 1–9, Bern.
- (1945): Neue Auffassungen über die Entstehung von Molassesedimenten. Ecl. geol. Helv., Vol. 38, Nr. 2.

- RUTSCH, R. (1947): Molasse und Quartär im Gebiet des Siegfriedblattes Rüeggisberg. Beitr. N. F. 87, Bern.
- RUTSCH, R. und HÜRZELER, J. (1934): Das Alter der Molassezone von Jona-Rapperswil-Ufenau (oberer Zürichsee). Ecl. geol. Helv., Vol. 27.
- RUTTE, E. (1950): Die Geologie der Oehninger Fundstätten. Mittbl. bad. geol. L.-A.
— (1951): Die Geologie des Schienerberges. Geol. Inst. Univ. Freiburg i. Br.
— (1953): Der Albstein in der miozänen Molasse Südwestdeutschlands. Z. d. D. Geol. Ges., Bd. 105, 3. Teil, S. 350—383.
- SAXER, F. (1942): Quartäre Krustenbewegungen in der Gegend von St. Gallen. Ecl. geol. Helv., Vol. 35.
- SCHAFFER, F. X. (1922): Lehrbuch der Geologie, 1. Teil: Allgemeine Geologie. Leipzig und Wien.
- SCHALCH, F. (1883): Das Gebiet nördlich vom Rhein (Kanton Schaffhausen, Höhgau und Schienerberg). Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz, 19. Lief., 2. Teil.
— (1914): Das Tertiärgebirge auf dem Reyath, Kanton Schaffhausen. Mitt. bad. geol. L.-A., 7.
- SCHUCHZER, J. J. (1706): Beschreibung der Naturgeschichten des Schweizerlandes. Zürich, Michael Schaufelberger.
- SCHINDLER, C. (1958): Geologische Untersuchungen in der Glärnischgruppe. Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz. (Im Erscheinen begriffen.)
- SCHMEER, DORA (1953): Sedimentpetrographische Beobachtungen aus der Oberen Süßwassermolasse im Bereich von Freising bis Landshut. Z. d. D. Geol. Ges., Bd. 105, 3. Teil, S. 496—516.
- SCHMIDLE, W. (1911): Zur Kenntnis der Molasse und Tektonik am nordwestlichen Bodensee. Z. d. D. Geol. Ges., 63/4.
— (1913): Die Untersuchungen der Molasse am nordwestlichen Bodensee. Ecl. geol. Helv., Vol. 12, Nr. 4.
— (1918): Die Stratigraphie der Molasse und der Bau des Überlinger- und Untersee-Beckens. Schr. Ver. Gesch. Bodensee, 47.
— (1931): Die Geschichte der geologischen Erforschung des Bodensees. Bad. geol. Abh., 3/2.
- SCHUPPLI, H. M. (1950): Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz, III/8: Ölgeologische Untersuchungen im schweiz. Mittelland zwischen Solothurn und Moudon. Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz, Geotechn. Serie, 26/III.
— (1952): Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz. IV/9, 10. Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz, Geotechn. Serie, 26/IV.
- SENFLEBEN, G. (1923): Beiträge zur geologischen Erkenntnis der West-Lägern und ihrer Umgebung. Diss. Univ. Zürich.
- SIEGL, W. (1948): Glastuff in der oberbayrischen Molasse und seine Beziehung zur Bleicherde. N. Jb. Min. usw. Mh. 1945—1948, A.
- SPECK, J. (1945): Fährtenfunde aus dem subalpinen Burdigalien und ihre Bedeutung für Fazies und Paläogeographie der Oberen Meeresmolasse. Ecl. geol. Helv., Vol. 38, Nr. 2, S. 411—416, Taf. 15.
— (1949): Blaualgenknollen im subalpinen Aquitanien am Zugersee. Ecl. geol. Helv., Vol. 42, Nr. 1, S. 1—11, Fig. 1—3, Taf. 1—4, Basel.
— (1953): Geröllstudien in der subalpinen Molasse am Zugersee. Diss. Univ. Zürich.
- STAUB, R. (1916): Tektonische Studien im östlichen Berninagebirge. Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. in Zürich, 61, 324—404.
— (1924): Der Bau der Alpen. Versuch einer Synthese. Beitr. z. Geol. Karte d. Schweiz, 52.
— (1934a): Grundzüge und Probleme alpiner Morphologie. Denkschr. d. SNG., Bd. LXIX, Abh. I, Zürich.
— (1934b): Übersicht über die Geologie Graubündens. Geol. Führer d. Schweiz, Fasc. 1, S. 205—239, Basel.
— (1938): Prinzipielles zur Entstehung der alpinen Randseen. Ecl. geol. Helv., Vol. 31, Nr. 2.

- STAUB, R. (1942): Gedanken zum Bau der Westalpen zwischen Bernina und Mittelmeer. Vierteljahrsschr. der Naturf. Ges. in Zürich. Jahrg. LXXXVII (II. T.).
- (1951): Über die Beziehungen zwischen Alpen und Appennin und die Gestaltung der alpinen Leitlinien Europas. *Ecl. geol. Helv.*, Vol. 44, Nr. 1.
- (1952): Der Pass von Maloja, seine Geschichte und Gestaltung. Jahresber. Naturf. Ges. Graubündens, Bd. LXXXIII.
- (1953): Grundsätzliches zur Anordnung der Kettengebirge. Koberfestschrift.
- (1954): Geologie der Glarneralpen. Tschudi, Glarus.
- STAUBER, H. (1937): Neuere geologische Untersuchungen am Schienerberg. *Mein Heimatland. Freiburg i. Br.*
- STEHLIN, H. G. (1914): Übersicht über die Säugetiere der schweizerischen Molasseformation, ihre Fundorte und ihre stratigraphische Verbreitung. *Verh. Naturf. Ges. Basel.*
- STEIN, M. (1948): Morphologie des Glattales. *Diss. Univ. Zürich.*
- STEPHAN, W. (1952): Ein tortoner vulkanischer Brockhorizont in der Oberrn Süsswassermolasse Bayerns. *Geologica Bavarica*, 14.
- (1955): Über den Vulkanismus in der OSM. Erläut. geol. Übersichtskarte d. süddeutsch. Molasse (München).
- STUDER, B. (1825): *Beyträge zu einer Monographie der Molasse. Mit 2 Tafeln, Bern.*
- (1853): *Geologie der Schweiz. 2. Bd., III. Teil: Das Hügelland, Bern und Zürich.*
- STUMPF, J. (1548): Gemeiner loblicher Eydnoschafft Stetten, Landen und Völkern chronic-wirdiger Thaaten beschreybung. Durch J. St'en beschriben und in XIII bücher abgeteilt. Zürich.
- SUOSS, E. (1866): Untersuchungen über den Charakter der österreichischen Tertiärablagerungen. *Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss., Wien*, Bd. 53 u. 54.
- SUTER, H. (1939): *Geologie von Zürich. Führer durch Zürich und Umgebung, III. Zürich.*
- (1944): Glazialgeologische Studien und Gebiete zwischen Limmat, Glatt und Rhein. *Ecl. geol. Helv.*, Vol. 37, Nr. 1.
- (1956): Geologie des Sihltals. *Blätter der Vereinigung «Pro Sihltal», Zürich, Heft 6.*
- TANNER, H. (1944): Beitrag zur Geologie der Molasse zwischen Ricken und Hörnli. *Mitt. d. thurg. Naturf. Ges.*, Heft 33, Frauenfeld.
- (1943): Siehe LEUFOLD, W. u. a. (1943).
- TERCIER, J. (1942): Sur l'âge du Flysch des Préalpes médianes. *Ecl. geol. Helv.*, Vol. 35, Nr. 2, p. 133—138, Basel.
- TOBIEN, H. (1938): Über Hipparion-Reste aus der obermiozänen Süsswassermolasse Südwest-Deutschlands. *Z. dtsh. geol. Ges.* 90/4.
- (1951): Über die Grabungen in der Oberrn Süsswassermolasse des Höwenegg (Hegau). *Mitt. Bl. bad. geol. L.-A.*, 1950.
- TRÜMPY, R. (1955): Wechselbeziehungen zwischen Paläogeographie und Deckenbau. *Vierteljahrsschr. d. Naturf. Ges. in Zürich, Bd. C.*
- TRÜMPY, R. und BERSIER, A. (1954): Les éléments des conglomérats oligocènes du Mont Pélerin. *Ecl. geol. Helv.*, Vol. 47, Nr. 1.
- TWENHOFEL, W. H. (1950): *Principles of Sedimentation. 2nd edition, Toronto.*
- VONDERSCHMITT, L. und TSCHOPP, H. J. (1953): Die Jura-Molassegrenze in der Bohrung Altshofen. *Bull. Ver. Schweiz. Petrol-Geol. und Ing.*, 20/58.
- VUAGNAT, M. (1943): Les grès de Taveyannes du Val d'Illiez et leurs rapports avec les rochers éruptives des Gêts. *Diss. Univ. Genf. Schweiz. min. u. petr. Mitt.*, 23, S. 353—436, 2 Taf., Zürich.
- (1946): Sur quelques diabases suisses. *Contributions à l'étude du problème des spilites et des pillow lavas. Schweiz. min. u. petr. Mitt.*, 26, S. 116—228.
- WANNER, E. (1934): Über die Mächtigkeit der Molasseschicht. *Vierteljahrsschr. d. Naturf. Ges. in Zürich*, 79.
- (1945): Die Erdbebenherde in der Umgebung von Zürich. *Ecl. geol. Helv.*, Vol. 38.
- WEBER, A. (1934): Zur Glazialgeologie des Glattales. *Ecl. geol. Helv.*, Vol. 27, Nr. 1.

- WELTI, G. (1950): Flugbild und subaquatische Geomorphologie. Beobachtungen bei Rapperswil. *Geographica Helvetica*, V, Heft 4.
 — (1950, 1951): Siehe BÜCHI, U. und WELTI, G. (1950, 1951).
 WETTSTEIN, A. (1885): Geologie von Zürich und Umgebung. Diss. Univ. Zürich.
 WÜRTHENBERGER, TH. (1906): Die Tertiärflora des Kantons Thurgau. *Mitt. Thurg. Naturf. Ges.*, 17.
 ZINGG, TH. (1934): Erläuterungen zu Atlasblatt 7 (226 Mönchaltorf, 227 Hörnli, 228 Wädenswil, 229 Rapperswil) d. geol. Atlas d. Schweiz.
 — (1935): Beitrag zur Schotteranalyse. Diss. E.T.H., Zürich. Schweiz. min. u. petr. Mitt., 15, S. 31—140, Zürich.

Karten

- Geologische Generalkarte der Schweiz. 1 : 200 000: Blatt 3, Zürich–Glarus (1950).
 Geologische Karte der Schweiz. 1 : 100 000:
 Blatt IV (1883)
 Blatt VIII (1913)
 Blatt IX (1875)

Geologischer Atlas der Schweiz. 1 : 25 000:

- Atlasblatt 4 (1930): Flawil–Herisau–Brunnadern–Schwellbrunn
 Atlasblatt 7 (1934): Mönchaltorf–Hinwil–Wädenswil–Rapperswil
 Atlasblatt 16 (1943): Pfyn–Märstetten–Frauenfeld–Bussnang
 Atlasblatt 18 (1945): Beromünster–Hochdorf–Sempach–Eschenbach

Geologische Spezialkarten

- Nr. 15: AEPPLI, A. (1894): Geologische Karte des Gebietes zwischen Zürichsee und Zugersee. 1 : 25 000.
 Nr. 25: MÜHLBERG, F. (1901): Geologische Karte der Lägernkette. 1 : 25 000, mit Erläuterungen.

Nicht von der geologischen Kommission publizierte Karten

- BODENBURG-HELLMUND, H. W. (1909): Geologische Karte der Drumlinlandschaft zwischen Greifensee und Pfäffikersee (südliches Glattal). 1 : 25 000.
 ESCHER VON DER LINTH, ARN. (1871): Geologische Karte der Stadt Zürich. 1 : 10 000. Neujahrsblatt d. Naturf. Ges. in Zürich auf das Jahr 1871.
 ESCHER VON DER LINTH, ARN. und MOUSSON, A. (1862): Geologisches Kärtchen des Kantons Zürich. 1 : 250 000. Neujahrsblatt d. Naturf. Ges. in Zürich auf das Jahr 1862.
 HEIM, ALB. (1894): Geologische Kartenskizze von Zürich und Umgebung. 1 : 60 000. Internat. Geol. Kongress Zürich.
 — Geologische Karte der Stadt Zürich. 1 : 5000. Geol. Inst. der E.T.H., Zürich.
 HERBORDT, O. (1907): Geologische Karte der Umgebung von Rapperswil. 1 : 25 000. Diss. Univ. Zürich.
 SUTER, H. (1939): Geologische Karte des Kantons Zürich und der Nachbargebiete. 1 : 150 000. Leemann & Co., Zürich.

Reliefs

- AEPPLI, A., HEIM, ALB. und WETTSTEIN, A. (1893): Geologisches Relief der Umgebung von Zürich. 1 : 40 000. Geol. Institut der E.T.H., Zürich.
 Geologisches Relief des Gebietes zwischen Zugersee und Zürichsee 1 : 25 000 nach den Untersuchungen von A. ESCHER VON DER LINTH, A. GUTZWILLER, ALB. HEIM und A. AEPPLI, bearbeitet von ALB. HEIM und J. FRÜH, 1894.
 WAELTI, H. J. (1939): Relief des Latterberges Stäfa. 1 : 1000.

Curriculum vitae

Am 18. Juli 1929 wurde ich, Nazario Pavoni, in Zürich geboren. Hier, in meiner Vaterstadt, besuchte ich nach sechs Jahren Primarschule von 1942 bis 1948 das Kantonale Realgymnasium und begann anschliessend an die Maturität 1948 mit meinem Studium an der Abteilung für Naturwissenschaften der Eidg. Technischen Hochschule, wo ich 1952 das Diplom als Naturwissenschaftler erlangte. Diplomarbeit in Geologie unter der Leitung von Prof. Dr. R. Staub: Molassestudien zwischen östlichem Pfannenstiel und Jona. Im Verlaufe meiner Studien an der Hochschule habe ich Vorlesungen, Kurse, Exkursionen und Praktika u. a. bei folgenden Professoren und Privat-Dozenten besucht: Prof. Dr. C. Burri (Petrographie), Prof. Dr. K. Escher (Didaktik), Prof. Dr. A. Frey-Wyssling (allg. Botanik), Prof. Dr. F. Gassmann (Geophysik), Prof. Dr. E. Gäumann (spez. Botanik), Prof. Dr. H. Gutersohn (Geographie), Prof. Dr. O. Jaag (spez. Botanik), P.-D. Dr. H. Jäckli (Geologie), Prof. Dr. A. Jeannet (Stratigraphie), Prof. Dr. W. Koch (spez. Botanik), Prof. Dr. E. Kuhn (Paläontologie), Prof. Dr. A. Linder (Mathematik), Prof. Dr. W. Leupold (Geologie), P.-D. Dr. A. von Moos (Geologie), Prof. Dr. P. Niggli (Mineralogie, Petrographie), Prof. Dr. R. Parker (Mineralogie), Prof. Dr. B. Peyer (Paläontologie), Prof. Dr. A. Pfluger (Mathematik), Prof. Dr. V. Prelog (org. Chemie), Prof. Dr. F. de Quervain (Petrographie), Prof. Dr. R. Savioz (Philosophie), Prof. Dr. P. Scherrer (Physik), Prof. Dr. R. Staub (Geologie), unter dessen Leitung auch die vorliegende Arbeit durchgeführt wurde, Prof. Dr. H. Suter (Geologie), Prof. Dr. W. Treadwell (anorg. Chemie), Prof. Dr. R. Trümpy (Stratigraphie), Prof. Dr. E. Winkler (Landesplanung), Prof. Dr. M. Zollinger (allg. Didaktik). Nach Abschluss meines Diploms war ich ein Jahr (1953/54) als Assistent mit halbtägiger Arbeitszeit am Institut für Geophysik der E.T.H. (Leitung Prof. Dr. F. Gassmann), von 1954 bis 1956 als Assistent mit halbtägiger Arbeitszeit am Geologischen Institut der E.T.H. (Leitung Prof. Dr. R. Staub) tätig. Von 1953 bis 1956 war ich Hilfslehrer am Kantonalen Realgymnasium in Zürich und unterrichtete gelegentlich auch an anderen Schulen (Kant. Oberseminar, Zürich, Kant. tonsschule Winterthur, Volkshochschule Zürich). Seit Juli 1956 arbeite ich als Geologe in der Türkei.



* V O R L A G E - G R O S S - E T H *

:

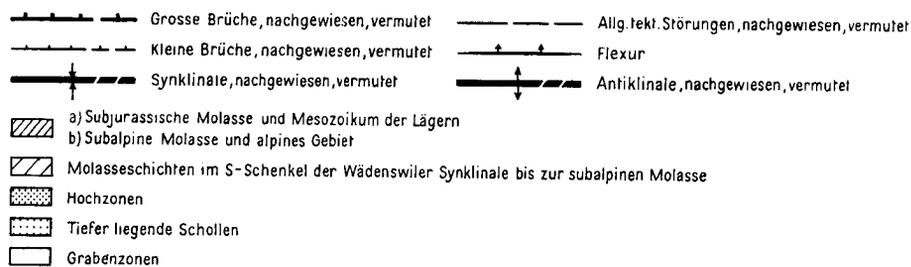
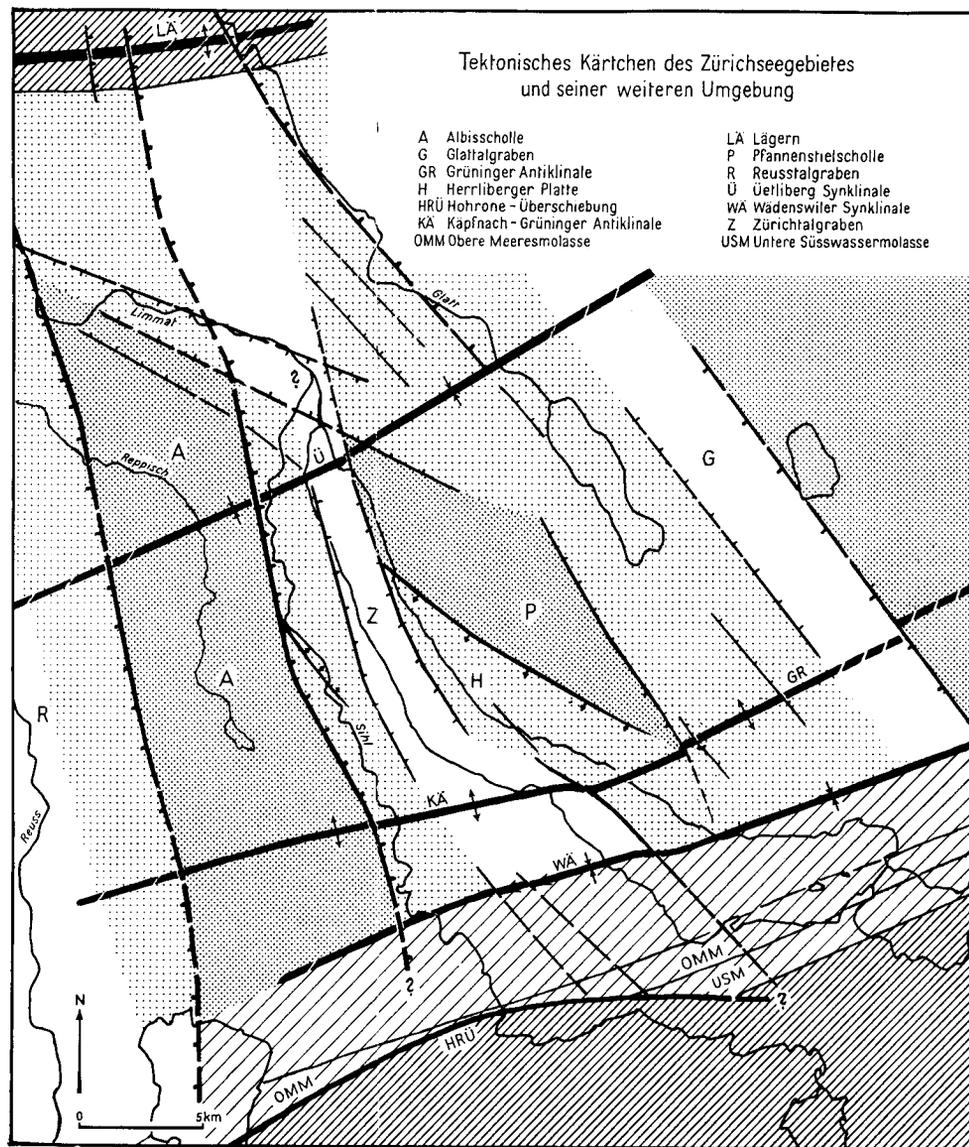
Vorlage > A3

:



* V O R L A G E - G R O S S - E T H *

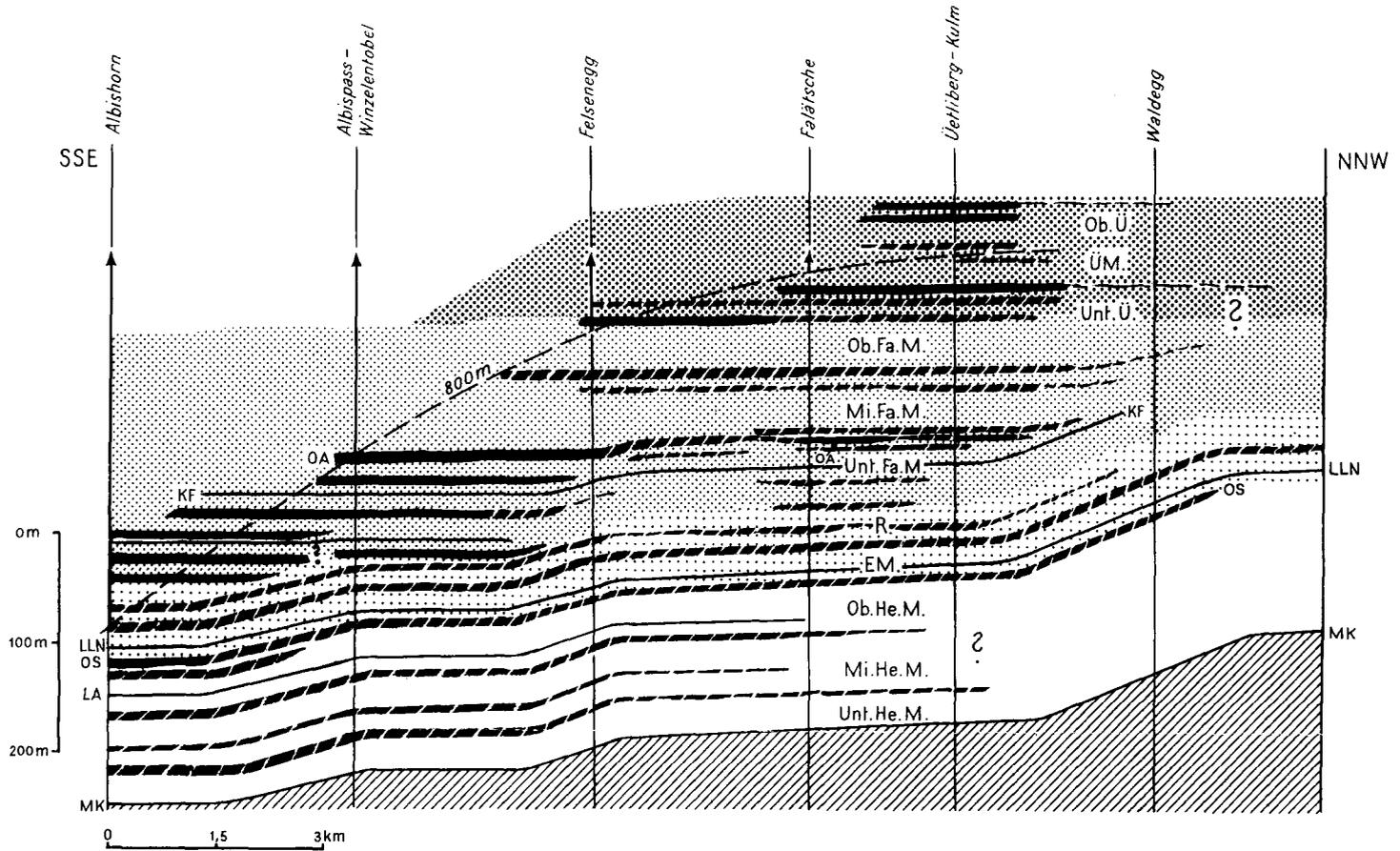
:



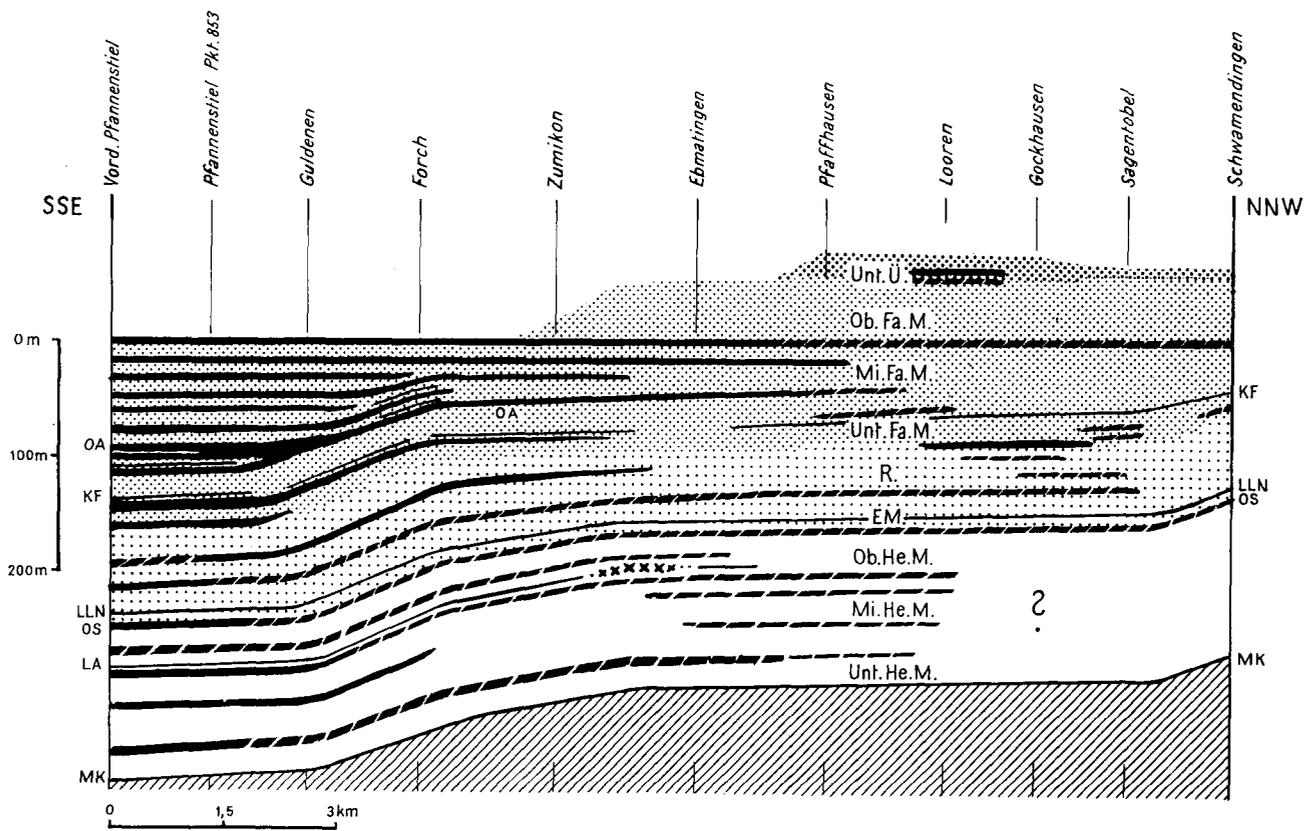
Lage und Verlauf der Synklinal- und Antiklinalachsen im Bereich der mittelländischen Molasse beziehen sich auf das limnische Leitniveau. HRÜ = Ursprüngliche Front der Hohrone - Scholle.

Stratigraphisch-lithologische Profile durch die Zürcher Molasse

A. Albis-Üetliberg



B. Pfannenstiel-Zürichberg



Legende:

- | | |
|--|--|
| Üetliberg - Schichten | Nagelfluhen |
| Pfannenstiel - Schichten | Wichtige Knauersandsteine |
| Zürich - Schichten | Kalke, LA Langnauer Kalk |
| Meilener - Schichten | KF Kalke der Unteren Falätsche Mergel |
| Molasseschichten unter dem Niveau des „Appenzeller Granites“ | LLN Limnisches Leitniveau der Zürcher Molasse |
| *x*x*x* Bentonit im Küssnachtertobel | MK Meilener Kalk (Niveau des „Appenzeller Granites“) |
| Betrag der späteren Hebung, relativ zum heutigen Üetlibergprofil | OA Ophiolithnagelfluh, - sandstein der Albispasszone |
| 800m Höhenkurve | OS Ophiolithnagelfluh, - sandstein der Sihlzipfzone |

Abkürzungen für die einzelnen Schichtserien:

Ob.Ü.	Obere Üetliberg-Schichten	Ob.Fa.M.	Obere Falätschenmergel	EM.	Entlisbergmergel
Ü.M.	Üetlibergmergel	Mi.Fa.M.	Mittlere Falätschenmergel	Ob.He.M.	Obere Hebeisenmergel
Unt.Ü.	Untere Üetliberg-Schichten	Unt.Fa.M.	Untere Falätschenmergel	Mi.He.M.	Mittlere Hebeisenmergel
		R.	Rütschlibachserie	Unt.He.M.	Untere Hebeisenmergel

Die Profile illustrieren die Verhältnisse kurz nach Ablagerung der oberen Üetliberg-Schichten, somit vor der späteren Faltung und Hebung des Molasselandes



* V O R L A G E - G R O S S - E T H *

:

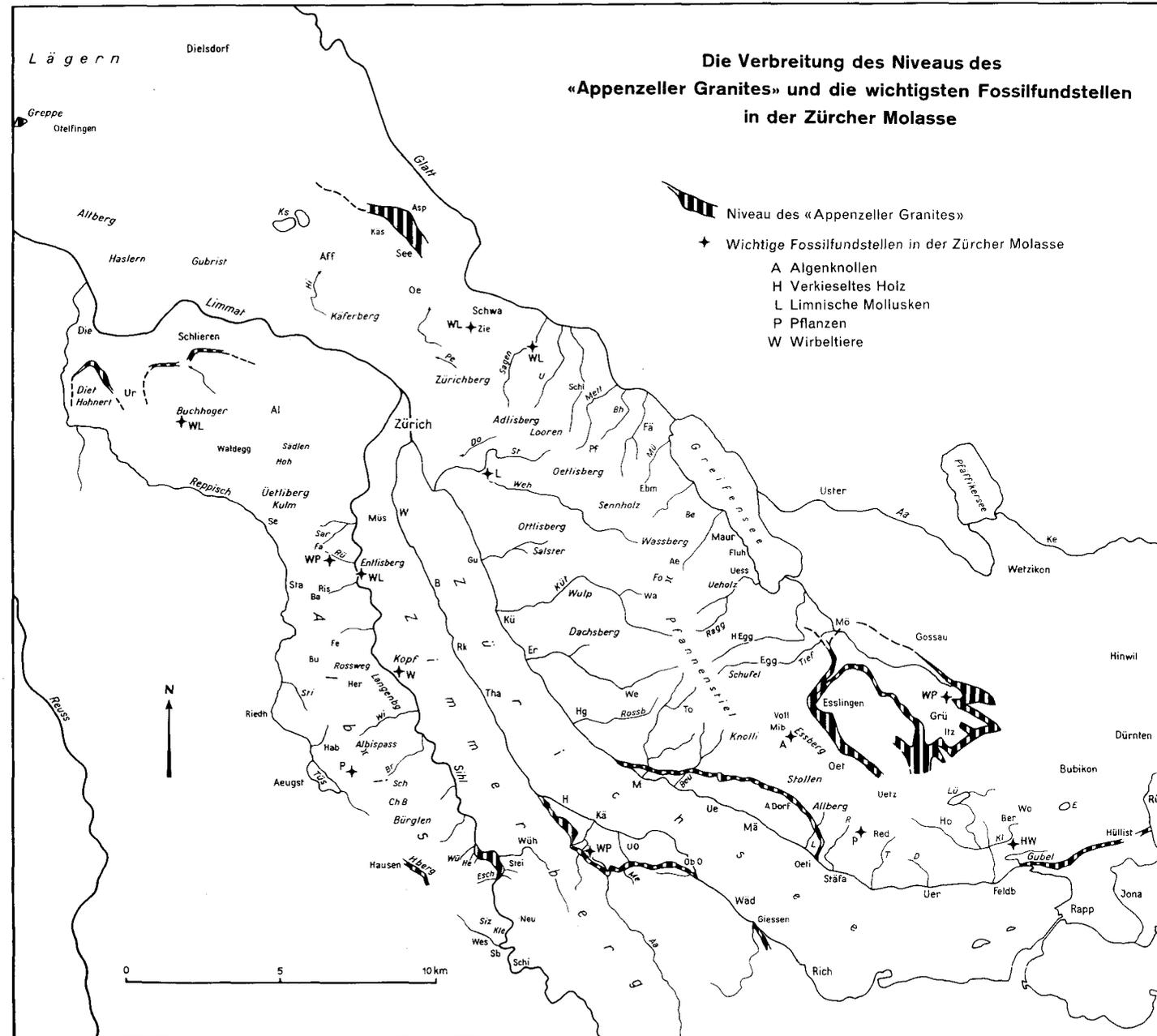
Vorlage > A3

:



* V O R L A G E - G R O S S - E T H *

:



Erklärung der Abkürzungen auf nebenstehendem Kärtchen

ADorf	Auf Dorf	Ho	Hombrechtikon	Sb	Sihlbrugg-Dorf
Ae	Aesch	Hoh	Hohenstein	Sch	Schnabel
Aff	Affoltern b. Zch.	Hüst	Hüllistein	Schi	Schiffli
Al	Albisrieden	Itz	Itzikon	Schl	Schlosstobel
B	Bendlikon			Schufel	Schufelberg
Ba	Baldern	Kä	Käpfnach	Schwa	Schwamendingen
Be	Benkeltobel	Käs	Käshalde	Se	Sellenbüren
Ber	Berlikon	Ke	Kemptner Tobel	See	Seebach
Beu	Beugentobel	Kle	Klemmeriboden	Siz	Sihlzopf
Bh	Brandholz	Kl	Klaustobel	St	Stöckentobel
Br	Brunnentobel	Ks	Katzensee	Sta	Stallikon
Bu	Buchenegg	Kü	Küsnacht	Stei	Steinmatt
ChB	Chli Bürglen	L	Lattenberg	Sti	Stierenmatt
D	Dorlentobel	Lü	Lützelsee	T	Teufelsobertilli
Die	Dietikon	M	Meilen	Tha	Thalwil
Diet	Dietiker Hohnert	Mä	Männedorf	Tief	Tiefenthalertobel
Do	Doldertobel	Me	Meilibach	To	Toggwil
E	Egelsee	Mett	Mettentobel	Tü	Türlersee
Ebm	Ebmatingen	Mib	Mittelsberg	U	Ursprungtobel
Er	Erlenbach	Mö	Mönchaltorf	Ue	Uetikon
Esch	Eschentobel	Mü	Mühletobel	Ueholz	Uessikerholz
Essberg	Esslingerberg	Neu	Neuhalden	Uer	Uerikon
Fa	Falätsche	ObO	Ober Ort	Uess	Uessikon
Fä	Fällanden	Oe	Oerlikon	Uetz	Uetzikon
Feldb	Feldbach	Oet	Oetwil	UO	Unter Ort
Fe	Felsenegg	Oeti	Oetikon	Ur	Urdorf
Fo	Forch			Voll	Vollikon
Grü	Grüningen	Pe	Peterstobel	W	Wollishofen
Gu	Gugger	Pf	Pfaffhausen	Wa	Wangertobel
H	Horgen	R	Risiboden	Wäd	Wädenswil
Hab	Habersaat	Ragg	Raggentobel	We	Wetzwil
Hberg	Hausenberg	Rapp	Rapperswil	Weh	Wehrenbachtobel
He	Hebeisen	Red	Redlikon	Wes	Wesenmattbach
Her	Hermen	Rich	Richterswil	Wi	Winzelentobel
Hg	Herrliberg	Riedh	Riedhof	Wo	Wolfhausen
HEgg	Hinteregg	Rk	Rüschlikon	Wüh	Wührenbach
Hi	Hintertobel	Rossb	Rossbach	Wü	Wüstes Tobel
		Rü	Rütschlibach	Zie	Ziegelei