

Horizonte fremdartiger Auswürflinge in der ostschweizerischen Oberen Süsswassermolasse und Versuch einer Deutung ihrer Entstehung als Impaktphänomen

Autor(en): **Hofmann, Fanz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **66 (1973)**

Heft 1

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-164184>

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

Horizonte fremdartiger Auswürflinge in der ostschweizerischen Oberen Süsswassermolasse und Versuch einer Deutung ihrer Entstehung als Impaktphänomen

Von FRANZ HOFMANN, Neuhausen am Rheinfall¹⁾

ZUSAMMENFASSUNG

Im nördlichen Kanton St. Gallen (Schweiz) ist in der Oberen Süsswassermolasse (Miozän) schon seit längerer Zeit ein Malmkalk-Blockhorizont bekannt, der früher als Ergebnis vulkanischer Eruptionen gedeutet wurde. Im gleichen stratigraphischen Niveau, jedoch einige Kilometer weiter westlich, wurden darüber hinaus exotische Gerölle nachgewiesen, die Zeichen einer zerstörenden, mechanischen Beanspruchung tragen. Sie können aufgrund der petrographischen Beschaffenheit nur aus der Oberen Meeresmolasse stammen, die jedoch erst in ungefähr 1000 m Tiefe zu erwarten ist. Gleichartige, jedoch wesentlich kleinere Gesteinsfragmente konnten auch im Wetterkalk von Hombrechtikon, 20 km SE Zürich, nachgewiesen werden. Vulkanisch-magmatische Mineralien fehlen in allen Fällen.

Eine kritische Diskussion der Vorkommen führte dazu, dass sie sehr wahrscheinlich das Ergebnis eines Impakts sind, der im Bodenseegebiet stattgefunden haben muss und mit dem Ries-Ereignis altersgleich ist. Die Bentonite der Ostschweiz sind jedoch deutlich jünger als das vermutete Impaktphänomen.

ABSTRACT

In the northern Canton of St. Gallen (Switzerland), a horizon with limestone rock fragments mainly from the Upper Jurassic, occurring in the Upper Fresh Water Molasse (Miocene) has been known for several years. Up to now, it has been considered as a result of a volcanic eruption. Furthermore, in the same stratigraphic level, but some kilometers further west, exotic pebbles have been found within clay layers: they show effects of a destructive mechanical stress. Due to their petrographic composition, these pebbles can only be attributed to the Upper Marine Molasse, which, however, is to be expected at a depth of approx. 1000 meters. Identical, but smaller exotic rock fragments of the same age were also found in a terrigenous limestone layer about 20 km SE of Zurich. Volcanic minerals are absent in all cases.

A critical evaluation of the phenomena described leads to the conclusion that they most probably are the result of an impact which would have happened in the Lake Constance area (Bodensee), and which would be of the same age as the Ries impact. The bentonite layers of Eastern Switzerland, however, are definitely younger.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit Erscheinungen in der ostschweizerischen Molasse, die meist auf Funde aus den Jahren 1945 bis 1947 zurückgehen (Feldarbeiten

¹⁾ Adresse des Verfassers: Dr. Franz Hofmann, Rosenbergstrasse 103, CH-8212 Neuhausen am Rheinfall, Schweiz.

für die Dissertation des Verfassers, F. HOFMANN 1952). Erst die Erkenntnisse der letzten Jahre, vor allem aus der Erforschung des Nördlinger Ries, führten in allerjüngster Zeit zu neuartigen Gesichtspunkten. Die neuen Befunde ergaben sich teilweise aus der Bearbeitung von Blatt 1074, Bischofszell, des Geologischen Atlas der Schweiz im Auftrage der Schweizerischen Geologischen Kommission, teilweise aus zusätzlichen Untersuchungen.

Der Verfasser dankt insbesondere Herrn Prof. E. Niggli und seinen Mitarbeitern vom Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Bern für die Untersuchung einiger Proben auf SiO_2 -Höchstdruckmodifikationen. Herr Prof. E. Niggli hatte zudem die Freundlichkeit, das Manuskript kritisch durchzusehen und dessen Veröffentlichung zu empfehlen. Durch seine Vermittlung untersuchte Herr Prof. Dr. W. von Engelhardt, Tübingen, einige Schliffe auf Stosswelleneffekte. Herr Dr. M. Frey (Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität Bern) führte freundlicherweise mehrere Analysen von Tonmineralien durch. Mit Herrn Prof. Dr. W. Weiskirchner (Tübingen) hatte der Verfasser Gelegenheit, auf einer Exkursion durch das Ries sich mit den dortigen Erscheinungen bekannt zu machen. Allen Herren ist der Verfasser zu aufrichtigem Dank verpflichtet.

Vorgeschichte

1945 fand der Verfasser in der Oberen Süsswassermolasse an der Sitter zwischen Bernhardzell und der Ruine Rabenstein (Fig. 1) einen Malmkalkblockhorizont: Trümmer von vorwiegend hellbeigen Kalken des oberen Malm in schwäbischer Fazies, völlig eckig und bis zu einigen Kilogramm schwer in einem einzigen Niveau in den fluvioterrestrischen Mergeln eingelagert. Wesentlich seltener wurden auch viel kleinere Trümmer aus anderen jurassischen Horizonten und aus der Trias gefunden.

Dieser Blockhorizont, in der Folge noch an zwei weiteren Stellen im Sitter-Tannenbergs-Gebiet nördlich von St. Gallen aufgefunden, wurde damals und bis vor kurzem als Ergebnis einer vulkanischen Explosion in der Ostschweiz oder im Bodenseegebiet gedeutet, zumal er zeitlich ungefähr dem Beginn der Hegaueruptionen gleichzusetzen ist.

Die spätere Entdeckung des ersten schweizerischen Bentonit- und Glastuffvorkommens bei Bischofszell (1947; F. HOFMANN 1952, 1956) in nächster Nachbarschaft bekräftigten die Ansicht von der vulkanischen Ursache des Blockhorizonts. Die beiden Erscheinungen lagen offensichtlich ungefähr im gleichen Niveau, und es lag nahe, sie miteinander in ursächlichen Zusammenhang zu bringen. Immerhin fiel schon damals auf, dass im Blockhorizont des Sittergebiets keinerlei magmatisch-vulkanische Mineralien nachzuweisen waren, vor allem auch keine solchen, wie sie in charakteristischer Weise in den schweizerischen Glastuffen und Bentoniten vorkommen.

Anlass zur Neubearbeitung

Im Rahmen einer Anschlussbegehung für Blatt 1074, Bischofszell, des Geologischen Atlas der Schweiz 1:25000 (F. HOFMANN, im Druck) wurde im Tiefenbachtobel NW St. Gallen bei Koord. 743080/256330/680 der Bentonithorizont als zwar sehr dünne, aber mit Hilfe der darin enthaltenen typischen Mineralien einwandfrei zu identifizierende Lage gefunden. Sie tritt dort in einem zusammenhängenden Profil

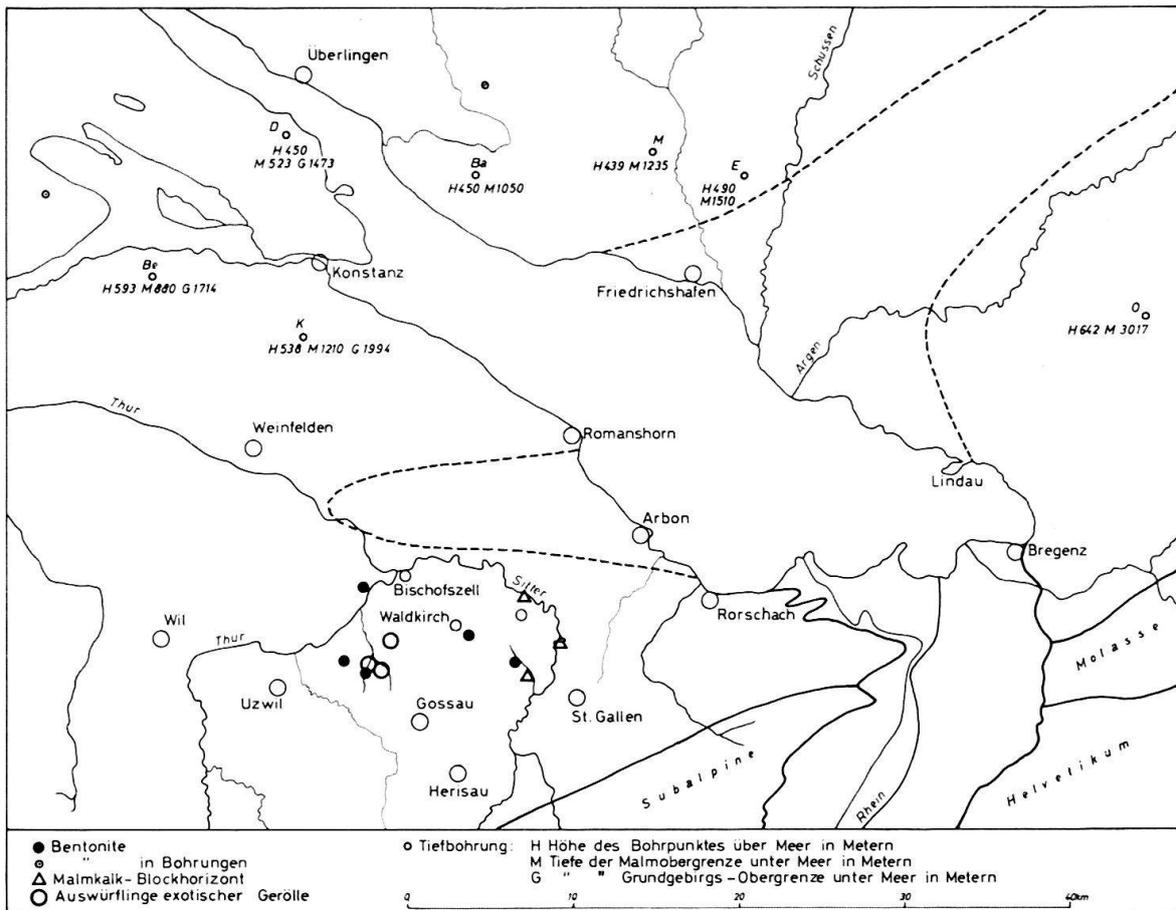


Fig. 1. Übersicht der Vorkommen von Malmkalkblockhorizonten, Auswürflingen exotischer Gerölle und Bentoniten im südwestlichen Bodenseegebiet und von Tiefbohrungen im Bodenseegebiet, die über den Molasseuntergrund Auskunft geben. Innerhalb der mit gestrichelten Linien umrandeten Gebiete fehlen Molasseaufschlüsse.

durch den grössten Teil der Oberen Süsswassermolasse des südlichen Tannenbergs auf, in welchem auch der Malmkalkblockhorizont aufgeschlossen ist: Der Bentonithorizont liegt in diesem Profil rund 70 m über dem Blockhorizont. Damit war der wichtige Befund erbracht, dass die beiden Erscheinungen nicht altersgleich sind, sondern etwa 100000 bis 150000 Jahre auseinanderliegen. Ein weiteres Bentonitvorkommen wurde von U. Büchi (mündl. Mitteilung) im gleichen stratigraphischen Niveau auf der Nordseite des Tannenbergs, S von Waldkirch (Koord. 739 360/258 400/690), gefunden, was mit den Parallelisationen der Nagelfluhhorizonte am Tannenberg (F. HOFMANN 1952) ebenso wie mit dem Befund im Tiefenbachtobel bestens harmonisiert.

Diese neuen Erkenntnisse gaben Anlass dazu, das Problem des Malmkalkblockhorizontes neu zu überdenken. Dazu kam als weiteres Phänomen das Vorkommen exotischer Gerölle und Geröllsplitter in der Oberen Süsswassermolasse NE Niederwil (bei Gossau SG) im Hertenbergstobel und an zwei weiteren Stellen, nebst dem Nachweis weiterer, neu aufgefundener Bentonitvorkommen als willkommene Leithorizonte. Die Auseinandersetzung mit dem Problem dieser Horizonte mit fremdartigen Komponenten in der Oberen Süsswassermolasse der Ostschweiz ist Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Stratigraphische Stellung und Alter der Horizonte mit fremdartigen Komponenten in der Oberen Süsswassermolasse der Ostschweiz

Die zur Diskussion stehenden Horizonte liegen innerhalb der flachliegenden, fluvioterrestrischen Oberen Süsswassermolasse (Miozän) der Ostschweiz, ungefähr an der Grenze Tortonien–Sarmatien. Blockhorizont und exotische Gerölle sind an die Basis der Öhningerschichten (U.P. BÜCHI 1958, F. HOFMANN 1959, 1960, 1965) zu stellen. Die vergleichenden stratigraphisch-lithologischen Profile (Fig. 2) erläutern die

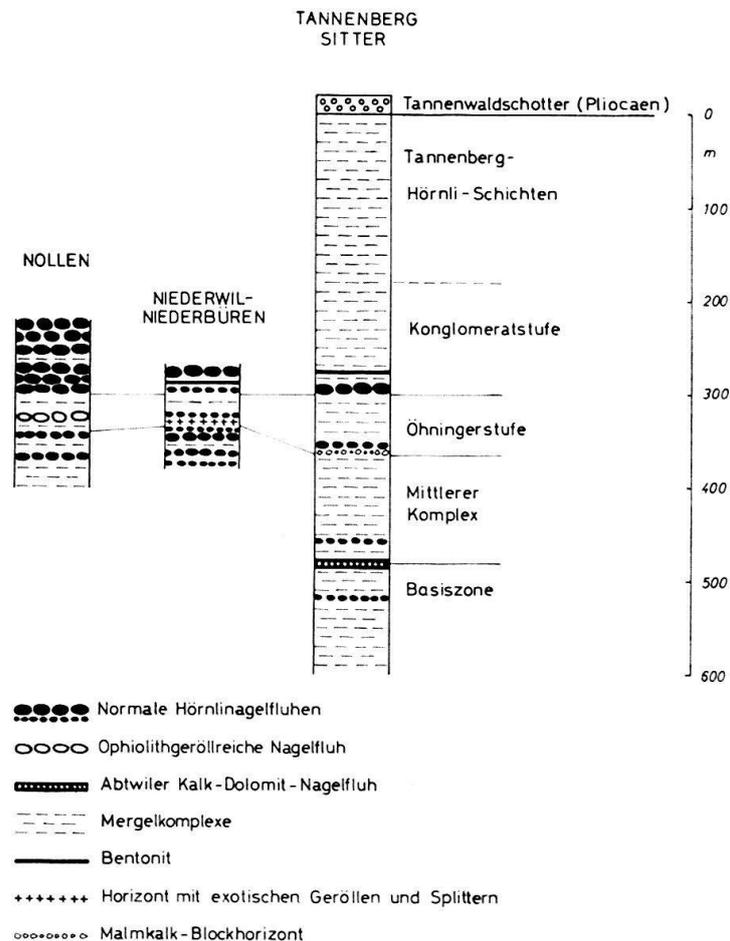


Fig. 2. Vergleichende stratigraphische Profile durch die Obere Süsswassermolasse im nördlichen Kanton St. Gallen. Das Profil Niederwil–Niederbüren entspricht jenem des Hertenberg- und Mutwiler Tobels.

Zusammenhänge etwas deutlicher. Das Bentonitniveau der Ostschweiz liegt stratigraphisch 40 bis 70 m höher als der Blockhorizont, in der Basisregion der Konglomeratstufe, die in der ganzen Nordostschweiz und bis zum Schienerberg durch starke Geröllschüttungen aus dem Hörnlischuttfächer gekennzeichnet ist.

Der Malmkalkblockhorizont im Tannenberg-Sitter-Gebiet

Die Hauptfundstelle des Malmkalkblockhorizonts liegt an der Sitter NW St. Gallen, zwischen Bernhardzell und der ehemaligen Burg Rabenstein, am besten aufgeschlossen bei Koord. 743 100/260 530/510 am linken Ufer der Sitter (vgl. auch Abb. 1).

Die beiden anderen Stellen liegen am rechten Ufer der Sitter in der Flußschlinge SE Erlenholz (Koord. 745 175/257 500/545) und am rechten Hang des Tiefenbachtobels NE Abtwil bei Koord. 743 540/255 570/660 (am Tiefenbach selbst nicht aufgeschlossen).

Profil an der Sitter bei Bernhardzell:

Etwa 8 m Nagelfluh (Konglomerathorizont) der Hörnlichüttung («Erlenholznagelfluh»);

2 m gelbgraue Mergel mit Mergelkalklagen;

- Blockhorizont, mit Malmkalkblöcken von max. etwa 20 cm Kantenlänge bis zu Grösse, auf ein einziges Niveau im Mergel beschränkt, der in der blockführenden Lage deutlich rötlich gefärbt ist.

Liegendes: gelbgrau gefleckte bis graugrüne Mergel.

Profil an der Sitter bei Erlenholz:

Nagelfluh der Hörnlichüttung («Erlenholznagelfluh»); unter deren Basis Ausräumungszonen von max. 50 cm Tiefe im liegenden Mergel, ausgefüllt mit Schwemmmaterial aus Sand und aufgearbeiteten Mergelstückchen, Malmkalktrümmer bis max. 5 cm Grösse führend.

Profil am rechten Hang des Tiefenbachtobels:

Profil gleichartig wie an der Sitter bei Bernhardzell: blockführende rötlich gefärbte Zone im Mergel, etwa 4 m unter der «Erlenholznagelfluh». Malmkalkblöcke von max. 10 cm Kantenlänge, meist weniger als 5 cm gross.

Beschreibung der Komponenten des Blockhorizonts

Malmkalkblöcke von oft 5 bis 10 cm Maximaldurchmesser, selten auch bis zu 20 cm Kantenlänge herrschen vor. Sie zeigen typisch schwäbische Fazies und stammen aus dem Kimmeridge (Weissjura δ , ε und ζ), teilweise vermutlich auch aus dem Oxford (Weissjura γ , wohlgeschichtete Kalke). Fossilien sind ab und zu darin zu finden (Brachiopoden, Belemniten, Kalkschwämme). Seltener finden sich mergelige Gesteine des Malm und noch seltener kleine Trümmer, die der Trias entstammen dürften: Quarzsandsteine vom Typus Stubensandstein, braunviolette Mergel aus dem Keuper. Besonders interessant ist ein grösserer, 1971 aufgefundener Block, der auf der Oberfläche Strukturen zeigt, die man sehr wohl als Shatter-Cone-Streifung deuten kann (Fig. 3).

Mineralführung der rötlichen Mergel des Blockhorizonts

Der Schlämmrückstand der rötlichen, blockführenden Mergel enthält einen beträchtlichen Anteil Malmkalkgrus, nebst grauem, kalkig-tonigem Material, das sowohl der Molasse als auch den mergeligen Schichten des Jura entstammen könnte. Nach Entkalkung des Schlämmrückstands verbleibt eine geringe, unlösliche Fraktion von maximal 3 mm Korngrösse, bestehend aus den folgenden Komponenten:

- Quarzsand, Körner bis über 1 mm, teilweise glasglänzend und in diesem Fall offenbar dem Siderolithikum entstammend (vgl. F. HOFMANN 1967), teilweise mit rauhen Oberflächen;
- Feldspatkörner, vermutlich aus Arkosen stammend (Stubensandstein?);
- Glimmer, Muskowit;
- Bohnerzkörnchen;
- nicht weiter definierbare silikatische Trümmer.

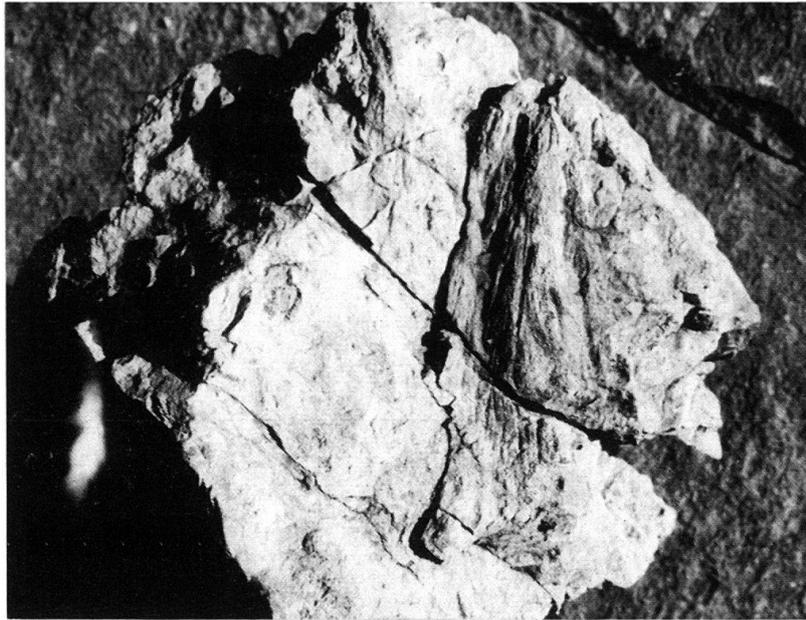


Fig. 3. Malmkalkblock mit Shatter-Cone-Struktur von der Fundstelle Bernhardzell–Rabenstein an der Sitter. Maximaler Durchmesser des Blocks 22 cm.

Die Schwerminerale des Schlämmrückstands entstammen wohl im wesentlichen der Molasse. Vulkanisch-magmatische Mineralien fehlen völlig, insbesondere die für die Bentonite der Ostschweiz typischen Mineralien (grüner Biotit, langprismatische idiomorphe Zirkone, dunkelbraune, stark pleochroitische Rutil, idiomorpher langprismatischer Apatit).

Der Horizont mit fremdartigen Geröllen und Geröllsplintern im Gebiet des Hertenberg- und Mutwiler Tobels

Im Hertenbergtobel, etwa 1,35 km NE Niederwil bei Gossau SG, bei Koord. 733600/256620/550 (Aufschluss auf der linken Tobelseite, SE P.548), findet sich folgendes Schichtprofil:

- 4 m Nagelfluh der Hörnlischüttung;
- 0–100 cm rot-weiss gefleckte, mergelige Zone, vertikal struiert, mit kalkigen, röhrenförmigen Ausfüllungen;
- 100 cm gelbgraue Mergel;
- 100 cm rot-weiss gefleckter, gegen unten eher grau-rot gefleckter Tonmergel, mit weisslichen, kalkig-dolomitischen Knollen (wetterkalkartig und von grünen, montmorillonitischen Tonfasern durchzogen); im unteren Teil zerstreut vorkommende exotische Gerölle;
- 70 cm dunkelrote Tonmergelzone, mit weisslichen, kalkig-dolomitischen Wetterkalkknollen und stellenweise nesterartig angereicherten exotischen Geröllen, die stets von wenigen Millimetern auffallend grünen Tons umgeben sind.

Liegendes: Wetterkalk¹⁾, unterlagert von Nagelfluh., ohne scharfe Grenze in den überlagernden Rotmergel übergehend.

¹⁾ Als «Wetterkalk» werden Kalksteine der Oberen Süsswassermolasse bezeichnet, die nicht als fossile Seekreiden (Süsswasserkalke, Stinkkalke) anzusprechen sind, sondern eher jurakalkartigen Charakter haben (vgl. F. HOFMANN 1952, N. PAVONI 1957). Wetterkalke sind meist rötlich gefärbt, völlig ungeschichtet und mehr oder weniger knollig.

Die eingelagerten fremdartigen Gerölle wurden vom Verfasser am 10. Oktober 1945 aufgefunden, konnten aber damals nicht gedeutet werden.

Die gleiche Zone konnte 1971/72 noch an folgenden beiden Stellen aufgefunden werden:

- Etwa 900 m E der erstgenannten Stelle, im Tobel von Junkertschwil bei Koord. 734 560/256 550/565, als gleichartige, weiss-rot gefleckte Tonmergelzone mit weisslichen Kalkknollen. Eingestreute exotische Gerölle sind jedoch nur äusserst selten und in sehr kleinen Exemplaren aufzufinden.
- Im Tobel N Mutwil, rund 1,7 km NNE der erstgenannten Stelle, bei Koord. 734 310/258 200/530, hier nur stellenweise in Form von Relikten der Rotmergelzone zwischen zwei, hier viel mächtiger entwickelten Nagelfluhbänken. Es wurde ein Granitgeröll in den rötlichen Tonmergeln gefunden.

Beschreibung der exotischen Gerölle und Splitter

Die exotischen Komponenten haben überwiegend den Charakter von Flussgeröllen, wie sie in Molassenagelfluhen vorkommen. Ein Teil davon ist völlig intakt, ein grösserer Teil jedoch zu Splittern zerbrochen, mit Spuren starker, mechanischer, zerstörender Beanspruchung. Auch in diesen Fällen ist stets zu erkennen, dass es sich ursprünglich um Gerölle handelte. Es wurden bis jetzt 150 Exemplare aufgesammelt, was eine Ermittlung der prozentualen Verteilung der Gerölle nach petrographischer Beschaffenheit und nach Erhaltungszustand erlaubte. Das Ergebnis dieser Auszählung ist in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1. Ergebnis der Untersuchung von 150 exotischen Geröllen aus dem Vorkommen Hertenbergertobel: Petrographie, Zustand und Grösse.

	Intakte Gerölle %	Geröll- fragmente %	Total %	Grösste: Durch- messer cm
Heller Sandsteinquarzit	15	50	65	7
Feinkonglomeratischer Quarzit (Verrucanotyp)	4	2	6	6
Quarzsandstein mit Silexlagen	-	1	1	6
Dunkelgrüner Ölquarzit	6	5	11	7
Radiolarit	+	-	+	2
Violetter Tonschiefer	-	2	2	6
Gangquarz	3	2	5	3
Granit, grün, grau	2	+	2	5
Gneis, gewöhnlich	-	1	1	2
Augengneis	1	-	1	6
Ophiolithe, stark zersetzt	2	3	5	6
Summe	33	66	99	

Ein Vergleich der petrographischen Verteilung der exotischen Gerölle im Hertenbergertobel mit den Nagelfluhen der Hörnlischüttung, innerhalb welcher die exotischen Gerölle vorkommen, zeigt deutlich, dass keinerlei Verwandtschaft besteht. Dies gilt nicht zuletzt auch für die Nagelfluhen, die im Hertenbergertobel selbst und in der weiteren Umgebung über und unter der Lage mit den exotischen Geröllen vorkommen. Die Gerölluntersuchungen von H. TANNER (1944) im Hörnlfächer und eigene Untersuchungen haben ergeben, dass die Hörnlinagelfluhen an der Basis etwa 15% Kristallingerölle enthalten, welcher Gehalt bis zu den höchsten Hörnlichichten auf

etwa 5% abnimmt. Besonders häufig sind Dolomitgerölle (bis 40%) nebst Kalkgeröllen und Flyschsandsteinen. Quarzite treten jedoch meist nur in sehr geringen Anteilen auf und haben nicht den Charakter der exotischen Quarzitgerölle im Hertenberg-tobel.

Sehr aufschlussreich ist die Tatsache, dass nicht sehr häufig zusammen mit den fremdartigen Geröllen und Geröllsplittern in der Rotmergelzone des Hertenberg-tobels auch Fragmente von glaukonitischem Molassesandstein vorkommen, die in gleicher Weise wie die Gerölle, umgeben mit einer grünen Tonhülle, in den Rotmergeln schwimmen, teilweise aber noch an Geröllen anhaften. Diese Glaukonit-sandsteinfragmente lassen sich sowohl makroskopisch als auch aufgrund des relativ geringen Karbonatgehalts und der Schwermineralien (epidotreich, grüne Hornblenden führend) nur als Sandsteine der mittelländischen, Oberen Marinen Molasse deuten.

Eine genauere Analyse der petrographischen Beschaffenheit und der Verteilung der exotischen Gerölle zeigt, dass sich auch diese nur als Material der beckenaxialen, fluviomarinen Napfschüttung zur Zeit der Oberen Marinen Molasse (Austernnagelfluhen, Quarzitnagelfluhen) deuten lassen (z. B. Basiskonglomerat der Oberen Marinen Molasse, Baltringerhorizont, Grimmelfinger und Kirchberger Schichten; vgl. A. SCHREINER 1961, 1966, 1970, F. HOFMANN 1960, 1967, K. LEMCKE, W. v. ENGELHARDT und H. FÜCHTBAUER 1953). Typisch sind vor allem die weissen, dichten Sandsteinquarzite, aber auch die Ophiolithe, die Hornsteine (Ölquarzite) und das Kristallin. Keine andere Nagelfluhschüttung des Alpenvorlands und des angrenzenden österreichischen oder deutschen Bodenseegebiets hält hingegen einen Vergleich mit den exotischen Geröllen in der Oberen Süswassermolasse der Ostschweiz aus.

Zum Vergleich kann vor allem die Nagelfluh in der Oberen Meeresmolasse der Buenas-Halbinsel am Zugersee-Westufer dienen (J. SPECK 1953). Die gleichen, weissen Quarzite, wie sie im Hertenberg-tobel als fremdartige Einlagerungen auftreten, sind auch dort die wichtigsten Komponenten. Flyschkalke fehlen allerdings unter den exotischen Geröllen der Ostschweiz, und deren Kristallinanteil ist wesentlich geringer. Andere Vergleichsmöglichkeiten bieten die Geröllzählungen von A. MATTER (1964) aus dem östlichen Napfgebiet, wo Gangquarze häufiger sind als Quarzite, ähnlich wie im Bodenseegebiet (A. SCHREINER 1970).

Beschaffenheit der Rotmergel, die die exotischen Gerölle enthalten

Tonmineralogische Untersuchungsergebnisse

Die rot-weiss gefleckten Tonmergel, die im Hertenberg-tobel die exotischen Gerölle enthalten, sind auffallend montmorillonitreich und führen meist weniger als 10% Karbonat (von den dolomitischen Kalkknollen abgesehen). Das gleiche gilt für die grünen Tonhäute, die die begleitenden, wetterkalkartigen Kalkknollen durchsetzen (Tab. 2).

Der die exotischen Gerölle umgebende grüne Ton unterscheidet sich nur in der Farbe vom übrigen Rotton. Es handelt sich vermutlich um eine Art Ausbleicherscheinung.

Nach den Ergebnissen von Tabelle 2 unterscheiden sich die Rottone im Hertenberg-tobel nicht allzu wesentlich von Tönen, die im gleichen Gebiet in der Oberen

Tabelle 2. Ergebnisse tonmineralogischer Untersuchungen an Material aus dem Hertenbergtobel (Dr. Martin Frey, Bern): Prozentanteile.

	Roter Tonmergel, exotische Gerölle führend	Grüne Tonhäute aus kalkig-dolomitischen Knollen im Rotmergel
Montmorillonit	50–55	55
Illit	20–25	20
Illit–Montmorillonit, unregelmässig wechsellagernd	20	20–25
Kaolinit		< 5
Chlorit	5	

Süsswassermolasse vorkommen. Dies zeigen die Daten von T.J. PETERS, TH. MUMENTHALER und J. P. JENNI (1972) aus der Mergelgrube von Mettlen TG. Immerhin fällt bei den Rottonen der geringe Karbonatgehalt auf.

Schlämmrückstand

Der entkarbonatisierte Schlämmrückstand der Rottone des Hertenbergtobels und der andern Fundstellen besteht aus quarzreichem mittelkörnigem bis grobem Sand, der relativ viele radiolaritartige Komponenten und andere, hornsteinartige Körner führt. Die Schwermineralfraktion ist in Tabelle 3 dargestellt. Sie vergleicht sich eher

Tabelle 3. Schwermineralinhalt des sandigen Schlämmrückstands aus dem exotische Gerölle führenden Rottonmergel im Hertenbergtobel.

Granat	26
Epidot	95
Staurolith	4
Disthen	+
Apatit	–
Zirkon	+
Rutil	+
Turmalin	+
Titanit	+
Hornblende	+

Granat in Prozent aller Schwermineralien. Übrige Schwermineralien in Prozent aller Schwermineralien ohne Granat.

mit Sanden der Napfschüttung der Oberen Marinen Molasse als mit solchen der Hörnlischüttung (vgl. die Daten von A. MATTER, in L. HOTTINGER, A. MATTER, W. NABHOLZ und C. SCHINDLER 1970). Vulkanisch-magmatische Mineralien vom Typus der Hegautuffe oder der ostschweizerischen Bentonite fehlen auch hier vollkommen.

Exotische Gesteinsfragmente im Wetterkalk von Hombrechtikon (Kanton Zürich)

Ein auffälliges Schichtglied in der Oberen Süsswassermolasse des Kantons Zürich ist der Wetterkalk von Hombrechtikon, 20 km SE von Zürich (TH. ZINGG 1934, N. PAVONI 1957, U. P. BÜCHI 1958). Dieser ungeschichtete, jurakalkartige, meist rötlich gefärbte Kalkhorizont nimmt ein Areal von über 100 km² ein. Aufgrund der Arbeiten der zitierten Autoren, insbesondere der kritischen stratigraphischen Vergleiche von U. P. BÜCHI (1958), und nach eigenen Beobachtungen steht es fest, dass der Wetterkalk von Hombrechtikon dem Niveau der exotischen Gerölle und Malmkalkauswürflinge im nördlichen Kanton St. Gallen entspricht.

Während der Bearbeitung der in der vorliegenden Arbeit diskutierten Probleme entstand denn auch bereits der Verdacht auf einen möglichen ursächlichen Zusammenhang zwischen diesem Wetterkalkhorizont und den Erscheinungen im nördlichen Kanton St. Gallen. Erst kurz vor Abschluss des Manuskripts ergab dann aber eine neue Baugrube E Hombrechtikon (Koord. 701 350/234 600/490) überraschende zusätzliche Befunde: an jener Stelle enthält der Wetterkalk, der von rötlichen Mergeln überlagert ist, teilweise sehr häufig exotische Gesteinssplitter, die jedoch kaum grösser als 15 mm sind. Dabei fallen insbesondere Geröllsplitter auf, die aus den gleichen Quarziten bestehen wie im Hertenberg Tobel. Wiederum zeigen die Geröllfragmente alle Zeichen einer mechanischen, zerstörenden Beanspruchung. Daneben fanden sich auch Ophiolithtrümmer und Kristallingerölle, als besondere Überraschung jedoch auch helle, eckige Kalksteinsplitter, die kaum anders denn als Jurakalke nichtalpiner Fazies deutbar sind.

Der Wetterkalk selbst hinterlässt nach Behandlung mit Salzsäure einen rötlichen quarzreichen Sandrückstand, der völlig gleichartig ist wie jener, der aus den Rotmergeln im Hertenberg Tobel ausgewaschen werden kann oder auch im dortigen liegenden Wetterkalk vorkommt. In Hombrechtikon ist der Sand jedoch deutlich feiner.

Ganz vereinzelt kommen auch grössere, nicht zerstörte Gerölle vor, die aus der Nagelfluh stammen müssen, die den Wetterkalk unterlagert. Es handelt sich dabei um Gerölle der Hörnlischüttung. Entsprechende Gerölle wurden bereits von N. PAVONI (1957) aus dem Kalk von Hombrechtikon beschrieben, doch sind die Fundstellen heute schlecht aufgeschlossen.

Aus dem Wetterkalk von Hombrechtikon lässt sich ein rötlicher Ton isolieren, der sehr montmorillonitreich ist und dem Ton im Hertenberg Tobel offensichtlich entspricht. Der Wetterkalk von Hombrechtikon scheint somit in einer sehr nahen ursächlichen Beziehung zu den Horizonten mit exotischen Auswürflingen im nördlichen Kanton St. Gallen zu stehen.

Wetterkalke haben in der Oberen Süsswassermolasse des Alpenvorlands keine allgemeine Verbreitung. Ihre Entstehung konnte nie befriedigend geklärt werden. Sie kommen – wie bereits erwähnt – zusammen mit den exotischen Geröllen im Hertenberg Tobel vor, jedoch auch in tieferen stratigraphischen Lagen der nächsten Umgebung (Mutwiler Tobel). Rottone begleiten sie sehr häufig. Für ihre Entstehung müssen besondere Bedingungen geherrscht haben, denn sie sind keine fossilen Seekreiden, also keine echten Süsswasserkalke, und sie enthalten höchstens gelegentlich Landschnecken, nie aber Reste von Süsswasserbewohnern.

Argumente für eine mögliche Deutung der Vorkommen fremdartiger Auswürflinge in der Oberen Süsswassermolasse der Ostschweiz als Impaktbildungen

- Die fremdartigen Komponenten im Malmkalkblockhorizont und im Horizont mit exotischen Geröllen und Geröllsplittern konnten nur als Auswürflinge durch ein aussergewöhnliches Ereignis in die Schichtfolge der Oberen Süsswassermolasse gelangt sein. Im weiteren Gebiet des Vorkommens dieser Horizonte ist die Obere Marine Molasse, aus der die fremdartigen Gerölle und Geröllsplitter im Gebiet NE Niederwil stammen müssen, in etwa 1000 m Tiefe zu erwarten, die Obergrenze des Malm, aus dem die meisten Trümmer des Blockhorizonts im Sittergebiet stammen, in etwa 2000 m Tiefe, die Obergrenze des kristallinen Grundgebirgs in etwas über 2500 m Tiefe (vgl. Fig. 4 und 5). Die Mächtigkeiten der Molasse und des Mesozoikums unter dem Bodenseegebiet sind durch die Tiefbohrungen der beiden vergangenen Jahrzehnte einigermaßen gut bekannt (K. LEMCKE und R. WAGNER 1961; U. P. BÜCHI, K. LEMCKE, G. WIENER und J. ZIMDARS 1965; Erläuterungen zur geologischen Karten der süddeutschen Molasse 1955).
- Die Detailbearbeitung der Oberen Süsswassermolasse des zur Diskussion stehenden Gebiets und der Nachweis zusätzlicher Leithorizonte sprechen dafür, dass Blockhorizont und Niveau mit exotischen Geröllen altersgleich sind.
- Beide zur Diskussion stehenden Horizonte mit fremdartigen Komponenten enthalten keinerlei jungvulkanisch-magmatische Mineralien. Eine Entstehung durch einen Vulkanausbruch ist deshalb unwahrscheinlich. Das die genannten Horizonte erzeugende Ereignis fand insbesondere nachweisbar vor der Entstehung der ostschweizerischen Bentonite und Glastufflagen statt.
- Die heute sehr weitreichende und gut fundierte Korrelation innerhalb der Oberen Süsswassermolasse des Alpenvorlands zeigt, dass Blockhorizont und Niveau mit fremdartigen Geröllen im nördlichen Kanton St. Gallen und der Kalk von Hombrechtikon mehr oder weniger altersgleich mit dem Ereignis sind, das zur Entstehung des Nördlinger Ries führte.
- Aufgrund der vorliegenden Befunde liegt der Verdacht nahe, dass das Gesteinsmaterial der Horizonte mit fremdartigen Auswürflingen in der Oberen Süsswassermolasse der Ostschweiz als Sprengtrümmer eines gleichartigen Ereignisses zu deuten ist, wie dies beim Nördlinger Ries und beim Steinheimer Becken angenommen wird, also als Zeugen eines Meteoreinschlags vor etwa 15 Millionen Jahren. Für diese Deutung spricht auch der Nachweis von Shatter-Cone-Strukturen in Malmkalkblöcken an der Sitter. Auch die Tatsache, dass ein grösserer Teil der exotischen Gerölle im Hertenbergtobel Spuren starker, zerstörender mechanischer Beanspruchung aufweist, passt in dieses Bild.
- Die Art des Auftretens der Horizonte mit fremdartigen Auswürflingen in der Ostschweiz und die Art der darin auftretenden Komponenten sprechen dagegen, das Trümmermaterial aus dem Sprengtrichter des Nördlinger Ries oder des Steinheimer Beckens herzuleiten. Für die Deutung als Impaktprodukte wäre ein in der Molassezone des Bodenseegebiets anzunehmender Einschlag wahrscheinlicher, der simultan zum Riesereignis stattgefunden hätte.

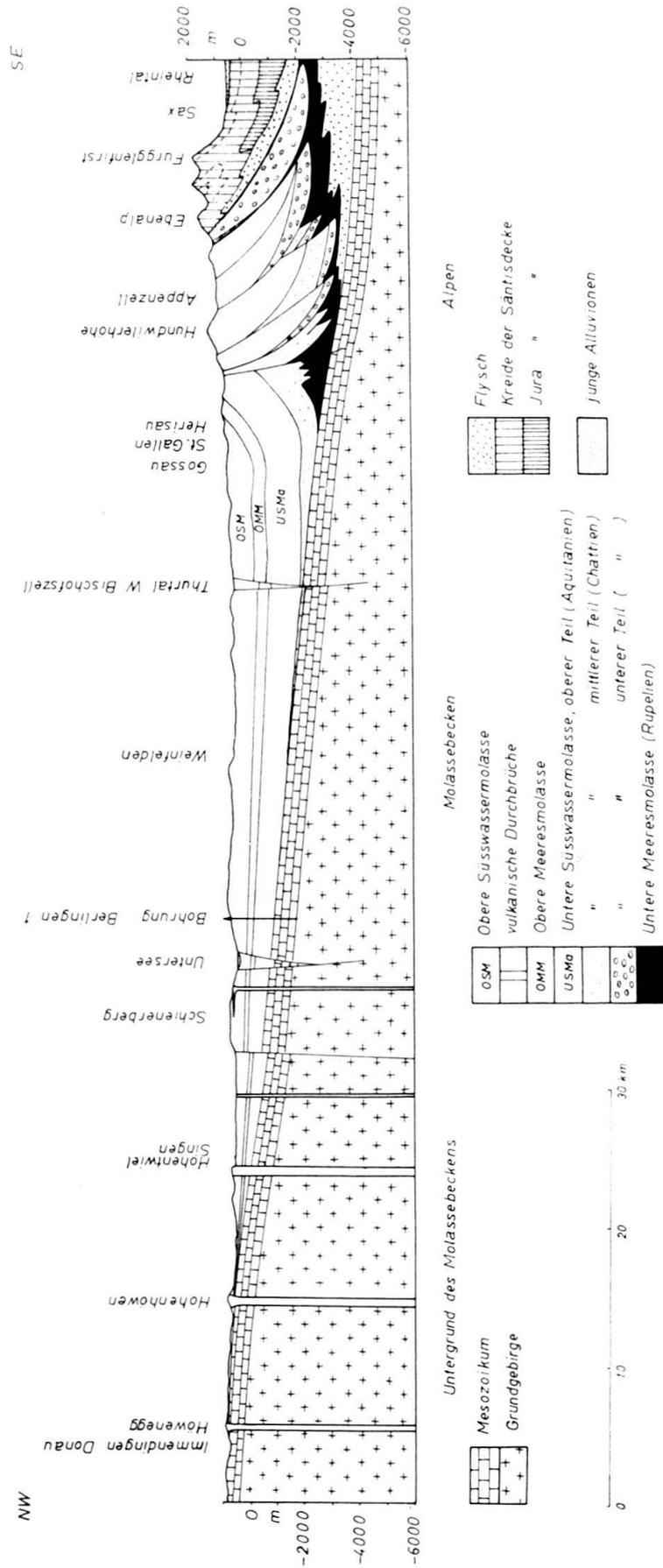


Fig. 4. Geologisches Profil durch die Nordostschweiz.

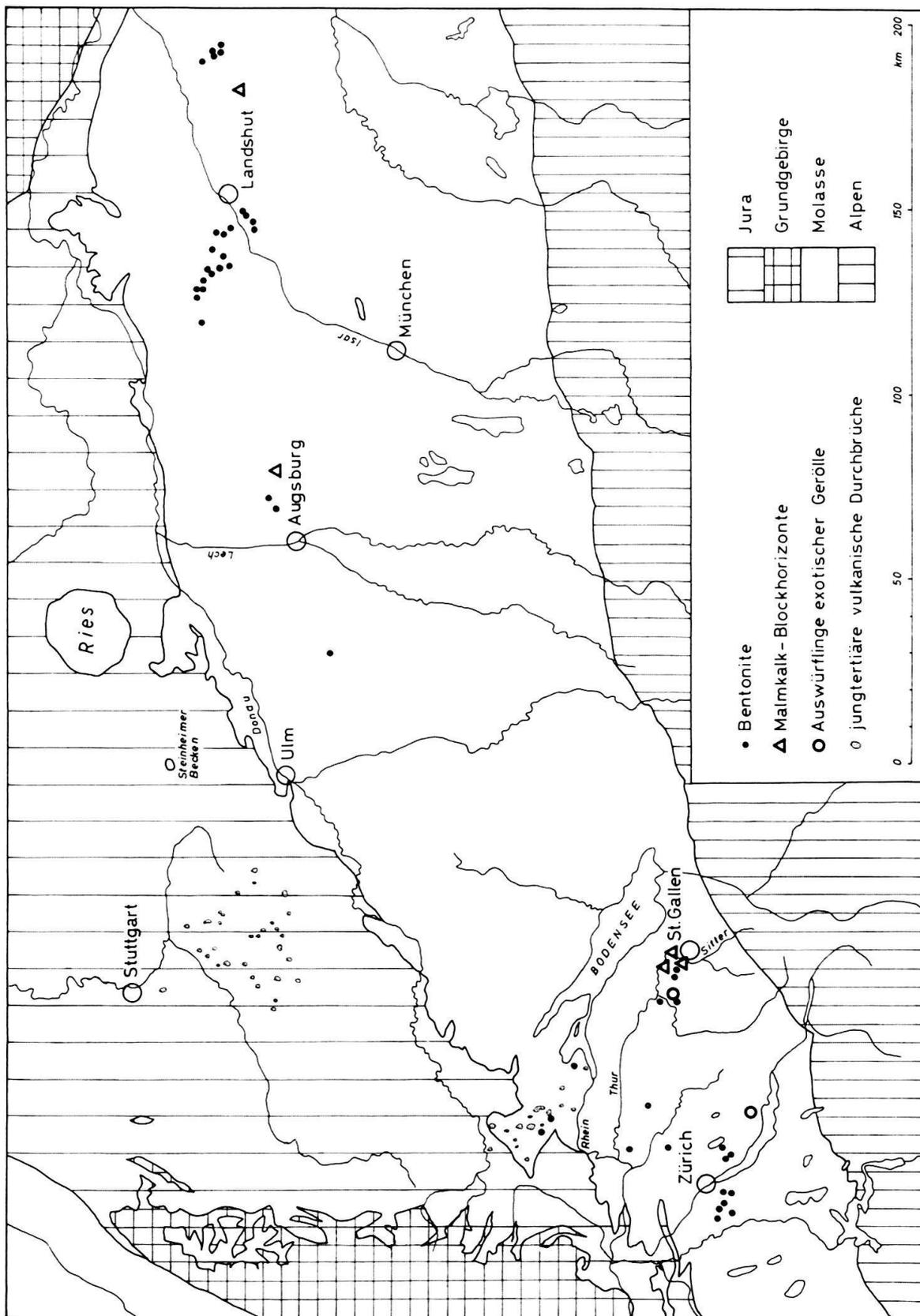


Fig. 5. Übersicht über die Vorkommen von Malmkalkblockhorizonten, Auswürflingen exotischer Gerölle und Bentoniten im schweizerischen und süddeutschen Alpenvorland.

- Der Einschlagskörper wäre durch die Molasse in den Malm eingedrungen, dort oder wenig tiefer explodiert und hätte bestenfalls noch wenig Material der Trias ausgeworfen, wäre aber wohl kaum bis ins Kristallin und offenbar auch nicht einmal bis in den Muschelkalk eingedrungen. Keupertrümmer (violette Mergel, Arkosen vom Typus des Stubensandsteins) sind aber aus dem Trümmermaterial gesichert. Grobblockige Trümmer lieferten vor allem die Kalksteinformationen des Malm, das wegen des kleineren Auswurfwinkels weniger weit von der Einschlagsstelle weg ausgeworfen worden wäre als das höhere Molassematerial. In der Molasse des mittleren und nördlichen Bodenseegebiets sind nur in der Oberen Marinen Molasse Nagelfluhhorizonte denkbar, nämlich die fluviomarinen Austernnagelfluhen (Quarzitnagelfluhen) der Napfschüttung. Ihr Material, etwa 1500 bis 2000 m über der Malmobergrenze gelegen, wäre in einem weiteren Winkel ausgeworfen worden als die Malmkalktrümmer, von Ausnahmen abgesehen (Hombrechtikon).
- Diese Überlegungen stimmen gut mit den petrographischen Befunden überein, wonach es sich bei den exotischen Geröllen in der Oberen Süsswassermolasse im Hertenbergobel um solche aus der Oberen Marinen Molasse handeln muss. Es scheint dabei, dass nur die resistentesten Gerölle die starke mechanische Schockbeanspruchung überstanden. Dies könnte eine gewisse Selektion erklären, wenn man mit andern Nagelfluhhorizonten aus der Oberen Marinen Molasse des nördlichen Bodenseegebiets (A. SCHREINER 1970) vergleicht. Unter dem mittleren und südlichen Bodenseegebiet anzunehmende Geröllagen der fluviomarinen Napfschüttung können aber durchaus primär etwas andere Geröllspektren aufweisen als die Austernnagelfluhen am Nordrand des miozänen Molassemeers. In diese Richtung deutet die Zusammensetzung der südlich gelegenen, bereits erwähnten Quarzitnagelfluh in der Oberen Marinen Molasse am Zugersee (J. SPECK 1953). Im übrigen darf nicht übersehen werden, dass die Aufteilung der untersuchten 150 Gerölle aus dem Hertenbergobel nach deren gesteinsmässiger Beschaffenheit auch etwas zufällig bedingt sein kann.
- Das weitaus überwiegend aus Mergeln und Sandsteinen zusammengesetzte Material der übrigen durchschlagenen Molasse wäre durch die angenommene Auswurfsexplosion wohl sehr stark zerstäubt worden.
- Es ist nicht auszuschliessen, dass das Material der Rottone und Wetterkalke vom Hertenbergobel und von Hombrechtikon aus feinerstäubter Molasse beziehungsweise aus Malmkalkstaub hervorging, die bei einem Impakt in grosser Menge entstanden sein mussten. Wetterkalke und Rottone in der Molasse verdienen deshalb in Zukunft vermehrte Beachtung.
- Die geographische Verteilung der Vorkommen von Geröll- und Malmkalkauswürflingen legt den Schluss nahe, dass das diese Trümmer und den allenfalls begleitenden Staub liefernde Explosionszentrum östlich oder nordöstlich der beschriebenen Vorkommen gelegen haben muss, aller Wahrscheinlichkeit nach im mittleren Bodenseegebiet (Amriswil–Romanshorn–Friedrichshafen?). Der Südteil des Bodenseegebiets kommt kaum in Frage, weil dort für den Malm helvetisch-alpine Fazies wahrscheinlich ist. Dies geht aus Befunden der Bohrung Opfenbach 1 hervor (K. LEMCKE und R. WAGNER 1961; siehe auch Fig. 1). Malm-

gesteine in helvetisch-alpiner Fazies fehlen aber unter den Auswürflingen des Blockhorizonts im Sittergebiet völlig.

Besondere Untersuchungen unter dem Gesichtspunkt der Impakttheorie

Herr Prof. Dr. E. Niggli, Bern, und seine Mitarbeiter (Prof. Th. Hügi, Prof. Tj. Peters) hatten die Freundlichkeit, Geröllsplitter, insbesondere einen Granitauswürfling aus dem Hertenbergobel, und säureunlöslichen Schlämmrückstand aus dem Blockhorizont an der Sitter auf Impakt-SiO₂-Modifikationen (z.B. Coesit) zu untersuchen, jedoch mit negativem Ergebnis.

Dünnschliffe von Quarzit- und Granitgeröllen aus dem Hertenbergobel wurden durch Vermittlung von Herrn Prof. E. Niggli von Herrn Prof. Dr. W. v. Engelhardt, Tübingen, untersucht. Anzeichen von Stosswellen konnten dabei nicht festgestellt werden.

Diese Ergebnisse überraschen allerdings nicht zu sehr, wenn man bedenkt, dass es sich dabei um Auswürflinge aus relativ hohen Zonen der durchschlagenen Schichten (Obere Marine Molasse) aus sehr weichem Material mit starkem Dämpfungseffekt handelt. Extrem hohe dynamische Druckbeanspruchungen, die zu strukturellen Umwandlungen hätten führen können, sind deshalb nicht sehr wahrscheinlich. Immerhin sind aber die trotzdem festgestellten mechanischen, zerstörenden Einflüsse bemerkenswert.

Einige Vergleiche mit dem Nördlinger Ries

Unter der Voraussetzung der Richtigkeit der Impakttheorie für die ostschweizerischen Vorkommen fremdartiger Auswürflinge in der Oberen Süsswassermolasse ist festzuhalten, dass diese praktisch gleichaltrig sein müssen wie die Einschläge im Ries und im Steinheimer Becken. Es wäre dabei auch fast zwingend, den im Bodenseegebiet angenommenen Einschlag als simultanes Ereignis zu jenen in Ries und Steinheim zu deuten.

Grössenvergleiche mit dem Ries

Im Gegensatz zum Nördlinger Ries und zum Steinheimer Becken (Fig. 5) wo der ausserirdische Einschlagskörper auf den Malm aufprallte, ist für den Einschlag im Bodenseegebiet – unter der Voraussetzung der Impakttheorie – ein Einschlag in relativ weiche Molasseschichten anzunehmen, mit einer Mächtigkeit von etwa 2000 m, je nach Lage der Einschlagsstelle zwischen Alpen und Molassenordrand (Fig. 4). Der offenbar starke Auswurf von Malmkalktrümmermaterial (unterhalb von rund 2000 m Tiefe) setzt einen bedeutenden Einschlagskörper voraus, der gegen 2500 m tief eingedrungen sein müsste, d.h. fast doppelt so tief wie im Falle des Ries. Stellt man die Unterschiede im Penetrationswiderstand der durchschlagenen Schichten in Rechnung, so kommt man jedoch für das Ries und den im Bodenseegebiet vermuten Einschlag auf etwa gleichartige Grössenordnungen (vgl. dazu E. DAVID 1969).

Malmkalkblockhorizonte und Bentonite in der bayerischen Molasse

Auch in der bayerischen Molasse sind zwei Vorkommen von Malmkalktrümmern in der Oberen Süsswassermolasse bekannt, ungefähr altersgleich mit den ostschweizerischen Vorkommen und dem Riesereignis: bei Gallenbach ENE Augsburgs.

burg (W. STEPHAN 1952) und bei Niedertrennbach in Niederbayern (R. HEROLD 1969); vgl. dazu Figur 5. Der Blockhorizont von Gallenbach liegt 30 bis 35 m unter dem dortigen Bentonitniveau (W. STEPHAN 1952, 1955) und führt bezeichnenderweise keinerlei vulkanisch-magmatische Mineralien. Dies sind bemerkenswerte Parallelen zu den ostschweizerischen Vorkommen von Blockhorizonten und Bentonitlagen: auch in der Oberen Süsswassermolasse im nördlichen Kanton St. Gallen ist das Bentonitniveau erheblich jünger als der Malmkalkblockhorizont und jenes mit exotischen Geröllauswürflingen, und zwar – unter Berücksichtigung der in Bayern eher etwas weniger mächtig ausgebildeten Oberen Süsswassermolasse – in der gleichen Grössenordnung.

D. STORZER und W. GENTNER (1970) deuten die bayerischen Bentonit- und Glasstufvorkommen als Ablagerungen von «Mikromoldaviten», als Umwandlungsprodukte von Glasstaub- und Mikrotektikregen im Gefolge des Rieseinschlags. Die neuen geologischen Befunde aus der Ostschweiz und die auffälligen Parallelen mit Bayern sprechen eher für die Herleitung der bayerischen Malmkalkblöcke aus dem Ries, jedoch für eine spätere, unabhängige, vulkanische Entstehung der Bentonite.

Die sogenannten «Reuterschen Blöcke» im Süden des Ries liegen nicht in der Oberen Süsswassermolasse, sondern an der Quartärbasis und wurden offensichtlich fluviatil transportiert. Es handelt sich dabei nicht unbedingt um Trümmernmassen des Ries (L. SCHEUENPFLUG 1970).

Hinweis auf einige besondere Erscheinungen in der schweizerischen Oberen Süsswassermolasse im stratigraphischen Niveau der Horizonte mit fremdartigen Auswürflingen

Im Unterseegebiet, am thurgauischen Seerücken, finden sich an zwei Stellen (Eggmühletobel, SW Mammern, K. 490 m, und Auerbachtobel, S Eschenz, K. 520 m) im gleichen Niveau, etwa 50 m unter der Basis der Konglomeratstufe (vgl. F. HOFMANN 1959), fluviatil verschwemmt in der Basiszone einer Glimmersandschicht auffällig ziegelrote Tonstückchen bis etwa 4 cm Durchmesser, die kalkfrei sind und nach Dr. M. Frey, Bern, etwa 40% Montmorillont, 25% Illit und 35% eines regelmässig wechsellagernden Illit-Montmorillonit-Mixed-Layer-Tons enthalten. Diese merkwürdigen Tonstückchen wurden vom Verfasser schon vor 20 Jahren beobachtet, konnten aber nicht weiter gedeutet werden.

Vor einigen Jahren fand Oberregierungsdirktor Dr. A. Schreiner (Geologisches Landesamt von Baden-Württemberg, Freiburg im Breisgau) das gleiche Material als anstehende, dünne Schicht nördlich des Untersees am Schienerberg, in einer Wasserschürfung rund 1,15 km N Hemmenhofen (Koord. 714 660/282 500/460), ebenso 300 m weiter östlich in einer Bohrung (nach freundlichen mündlichen und brieflichen Mitteilungen).

Das Niveau dieser Vorkommen entspricht jener des Horizonts mit exotischen Auswürflingen in der Ostschweiz, weshalb es im Zusammenhang mit deren Bearbeitung erneut aktuell wurde.

Es ist möglich, dass es sich um eine Staubablagerung aus dem im Bodenseegebiet vermuteten Impakt handelt. Eine nähere Interpretation ist derzeit kaum möglich, vor allem deshalb nicht, weil Impaktmaterial im Gegensatz etwa zu vulkanischen Stauben meist keine charakteristischen Mineralien enthält.

Leider sind weitere Oberflächenaufschlüsse in der ostschweizerischen Oberen Süsswassermolasse und in weiten Gebieten jenseits des Bodensees äusserst selten oder fehlen ganz, und in einem wesentlichen Teil des Molasselandes im Sitter-Thur-Gebiet liegt der interessierende Horizont unter der Oberfläche. Häufig muss er auch intramolassischer Erosion zum Opfer gefallen sein (Nagelfluhschüttungen, Glimmersand-Stromsystem).

LITERATURVERZEICHNIS

- Arbeitsgemeinschaft Ries (1969): *Das Ries. Geologie, Geophysik und Genese eines Kraters*. Geologica Bavarica 61.
- Bayerisches Geologisches Landesamt (1955): *Erläuterungen zur Geologischen Übersichtskarte der Süddeutschen Molasse, 1:300000*. München.
- BÜCHI, U.P. (1958): *Geologie der Oberen Süsswassermolasse (OSM) zwischen Reuss und Glatt*. Bull. Ver. Schweizer. Petrol. Geol. Ing. 23/68, 5–24.
- BÜCHI, U., und HOFMANN, F. (1945): *Spuren vulkanischer Tätigkeit im Tortonien der Ostschweiz*. Eclogae geol. Helv. 38/2, 337–343.
- BÜCHI, U.P., LEMCKE, K., WIENER, G., und ZIMDARS, J. (1965): *Geologische Ergebnisse der Erdöl-exploration auf das Mesozoikum im Untergrund des schweizerischen Molassebeckens*. Bull. Ver. Schweiz. Petrol. Geol. Ing. 32/82, 7–38.
- BÜCHI, U.P., WIENER, G., und HOFMANN, F. (1965): *Neue Erkenntnisse im Molassebecken aufgrund von Erdöltiefbohrungen in der Zentral- und Ostschweiz*. Eclogae geol. Helv. 58/1, 87–108.
- DAVID, E. (1969): *Das Ries-Ereignis als physikalischer Vorgang*. In: Arbeitsgemeinschaft Ries: *Das Ries*. Geologica Bavarica 61, 350–378.
- HEROLD, R. (1969): *Eine Malmkalk-Trümmermasse in der Oberen Süsswassermolasse Niederbayerns*. In: Arbeitsgemeinschaft Ries: *Das Ries*. Geologica Bavarica 61, 413–427.
- HOFMANN, F. (1952): *Zur Stratigraphie und Tektonik des st.gallisch-thurgauischen Miozäns (Obere Süsswassermolasse) und zur Bodenseegeologie*. Ber. Tät. St.Gall. Naturwiss. Ges. 74, 1–87.
- (1956): *Sedimentpetrographische und tonmineralogische Untersuchungen an Bentoniten der Schweiz und Südwestdeutschlands*. Eclogae geol. Helv. 49/1, 113–133.
 - (1959): *Vulkanische Tuffhorizonte der Schienerberg-Eruptionen auf dem thurgauischen Seerücken*. Eclogae geol. Helv. 52/2, 461–475.
 - (1959): *Materialherkunft, Transport und Sedimentation im schweizerischen Molassebecken*. Ber. Tät. St.Gall. Naturwiss. Ges. 76, 49–76.
 - (1960): *Beitrag zur Kenntnis der Glimmersand-Sedimentation in der Oberen Süsswassermolasse der Nord- und Nordostschweiz*. Eclogae geol. Helv. 53/1, 1–25.
 - (1965): *Die stratigraphische Bedeutung der Bentonite und Tufflagen im Molassebecken*. Jber. Mitt. Oberrh. geol. Ver. [N.F.] 47, 79–90.
 - (1967): *Über die Tertiärbildungen im Kanton Schaffhausen*. Mitt. Naturf. Ges. Schaffhausen 28, 171–310.
 - (im Druck): *Erläuterungen zu Blatt 1074, Bischofszell, des Geologischen Atlas der Schweiz, 1:25000*. Schweiz. Geol. Komm.
- HÖTTINGER, L., MATTER, A., NABHOLZ, W., und SCHINDLER, C. (1970): *Erläuterungen zu Blatt 1093, Hörnli, des Geologischen Atlas der Schweiz, 1:25000*. Schweiz. Geol. Komm.
- LEMCKE, K., ENGELHARDT, W. v., und FÜCHTBAUER, H. (1953): *Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Westteil der ungefalteten Molasse des süddeutschen Alpenvorlandes*. Beih. geol. Jb., H. 11, Hannover.
- LEMCKE, K., und WAGNER, R. (1961): *Zur Kenntnis des vortertiären Untergrundes im Bodenseegebiet*. Bull. Ver. Schweiz. Petrol. Geol. Ing. 27/73, 9–14.
- MATTER, A. (1964): *Sedimentologische Untersuchungen im östlichen Napfgebiet*. Eclogae geol. Helv. 57/2 315–428.
- PAVONI, N. (1957): *Geologie der Zürcher Molasse zwischen Albiskamm und Pfannenstiel*. Vjschr. Naturf. Ges. Zürich 102/5, 117–315.
- PETERS, T.J., MUMENTHALER, TH., und JENNI, J.P. (1972): *Mineralogische und technologische Untersuchungen an Ziegeltonen aus der Molasse der NE-Schweiz*. Schweiz. Min.-Petr. Mitt. 52/2, 331–348.

- TANNER, H. (1944): *Beitrag zur Geologie der Molasse zwischen Ricken und Hörnli*. Mitt. Thurg. Naturf. Ges. 33.
- SCHEUENPFLUG, L. (1970): *Weissjurablöcke und -gerölle der Alb in pleistozänen Schottern der Zuspaltplatte (Bayerisch Schwaben)*. Geologica Bavarica 63, 177–194.
- SCHREINER, A. (1961): *Graupensandrinne, Juranagelfluh und Deckentuff im Hegau*. Ber. Naturf. Ges. Freiburg i.Br. 51, 245–260.
- (1966): *Zur Stratigraphie der Oberen Meeresmolasse zwischen der oberen Donau und dem Überlingersee (Baden-Württemberg)*. Jber. Mitt. Oberrh. geol. Ver. [N.F.] 48, 91–104.
 - (1970): *Erläuterungen zur Geologischen Karte des Landkreises Konstanz mit Umgebung, 1:50000*. Geol. L. A. Baden-Württ., Freiburg i.Br.
- SPECK, J. (1953): *Geröllstudien in der subalpinen Molasse am Zugersee*. Zug.
- STEPHAN, W. (1952): *Ein tortoner vulkanischer Brockhorizont in der Oberen Süsswassermolasse Bayerns*. Geologica Bavarica 14, 76–85.
- (1955): *Über den Vulkanismus in der OSM*. Erl. Geol. Übersichtskarte Südd. Molasse, 1:300000, S. 57–58.
- STORZER, D., und GENTNER, W. (1970): *Spaltspuren-Alter von Riesgläsern, Moldavitin und Bentoniten*. Jber. Mitt. Oberrh. geol. Ver. [N.F.] 52, 97–111.
- ZINGG, TH. (1934): *Erläuterungen zu Blatt 7 des Geologischen Atlas der Schweiz 1:25000 (Mönchaltorf–Hinwil–Wädenswil–Rapperswil)*. Schweiz. Geol. Komm.

GEOLOGISCHE KARTEN

- Bayerisches Geologisches Landesamt (1955): *Geologische Übersichtskarte der Süddeutschen Molasse, 1:300000*.
- GEIGER, E. (1968): *Blatt 1054, Weinfeldern*. Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25000. Schweiz. Geol. Komm.
- HANTKE, R. (1967): *Geologische Karte des Kantons Zürich, 1:50000*. Vjschr. Naturf. Ges. Zürich, 112/2.
- HOFMANN, F. (im Druck): *Blatt 1074, Bischofszell*. Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25000. Schweiz. Geol. Komm.
- SAXER, F. (1964): *Blatt 1075, Rorschach*. Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25000. Schweiz. Geol. Komm.
- ZINGG, TH. (1934): *Atlasblatt 7, Mönchaltorf–Hinwil–Wädenswil–Rapperswil*. Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25000. Schweiz. Geol. Komm.