

In memoriam Prof. Dr. HANS SUTER 1892–1980

Die Obere Süßwassermolasse der Schweiz, ihr Paläorelief und ihre stratigraphische Fortsetzung in die Vogesen-Schüttung

Von RENÉ HANTKE, Zürich

Untere Meeresmolasse, Untere Süßwassermolasse, Obere Meeresmolasse

Im mittleren Oligozän wurde der Nordrand der langsam sich emporhebenden Alpen noch von einem seichten perialpinen Meer umspült, das im Südwesten und im Nordosten mit gegen Norden vorgreifenden Golfen des Mittelmeers zusammenhing. In diesem schmalen Meeresgürtel gelangten Mergel mit Cyrenen und kreuzgerichtete Sande mit Wellenrippeln, die *Untere Meeresmolasse*, zur Ablagerung. Durch die Sedimentation des mitgeführten Materials zahlreicher aus den werdenden Alpen austretender Flüsse wurde das perialpine Meer allmählich zugeschüttet, und nach und nach bauten die zugeführten Schuttmassen als *Untere Süßwassermolasse* mächtige Kies- und Sandfächer auf. Im Alpen-Vorland begann damit – trotz einer gewissen Absenkung – der Aufbau eines sanften Reliefs durch zeitlich sich ablösende Schuttfächer. Diese unterscheiden sich nicht nur in Geröllinhalt und Schwermineralbild, sondern geben sich auch heute noch morphologisch zu erkennen. Aufgrund der Schwermineral-Vergesellschaftung erfolgte damals der Abfluss des nordalpinen Sammelstranges gegen Ostnordosten. Später, im Pliozän, sind diese Fächer allerdings durchschert und die einzelnen Teile dachziegelartig übereinandergeschoben worden.

Über die oberoligozän bis untermiozän geschütteten Fächer transgredierte noch zuvor, im frühen Mittelmiozän, aus dem Rhonetal und aus dem Wiener Becken erneut ein jüngeres Molassemeer. In diesem gelangten vorab Sande mit Austern- und Cardienbänken sowie Mergel, die *Obere Meeresmolasse*, zur Ablagerung. Durch grosse, neu aktiv gewordene Schüttungszentren wurde dieser jüngere, etwas breitere und nach aussen verlagerte Meeresgürtel zwischen dem sich bildenden Jura-Gebirge und den immer stärker emporsteigenden Alpen in den Frontbereichen der Fächer mehr und mehr eingeebnet und

nach einer letzten maximalen Transgression ein- und schliesslich durchgeschnürt. Damit begann das Meer allmählich gegen Osten und Westen zurückzuweichen. Die noch verbliebenen Überreste wurden ausgesüsst und zuge schüttet. In den schüttungsrärmeren Rand- und Interferenz-Bereichen stellte sich eine Tiefland-Vegetation ein; gegen die Alpentore hin wuchsen Schuttfächer mit sich ablösenden Geröllbänken – ehemalige Rinnenfüllungen – langsam empor.

Die Deformation des Molassebeckens und der glaziäre Abtrag

Aus den Strukturen, die auch in der Schweiz zusätzlich durch mehrere Tiefbohrungen besser bekanntgeworden sind, lässt sich die spätere Deformation des Molassebeckens ermitteln. Dabei zeichnet sich gegen Westsüdwesten ein Herausheben der Beckenaxen ab. Nach LEMCKE (1972, 1974, 1981) beträgt dieses bereits auf der 90 km langen Strecke Zürich–Bern rund 1000 m.

Mit dem Anstieg der Beckenaxen steigen auch die Jura-Ketten gegen Westsüdwesten von knapp 800 m auf über 1700 m an. Im Bereich des Genfersees bis an den Riegel der Montagne du Vuache ist die Obere Meeresmolasse zwischen Montblanc-Massiv und Hochjura nicht mehr erhalten. Vom wiederholt längs tektonischen Störungen vorgestossenen Rhone-Eis ist sie bis tief in die Untere Süsswassermolasse ausgeräumt worden. Über dem Plateau suisse war die eiszeitliche Ausräumung deutlich geringer. Ausgekolkte Täler, vom Eis überprägte und in der Strömungsrichtung angeordnete Rundhöcker bekunden allerdings auch dort die Wirkung des darüber weggeführten Rhone-Gletschers, der sich mit seinem Solothurner Arm weit gegen Nordosten wandte.

Die Hauptschüttungen der Oberen Süsswassermolasse

Über der obersten Oberen Meeresmolasse folgen im Westen nur zwischen Saane und Aare, im Gebiet östlich von *Guggisberg* und an der *Gibelegg*, nochmals fluviale Ablagerungen. In dieser Oberen Süsswassermolasse lassen sich weiter nach Osten noch drei Hauptschüttungen unterscheiden: *Napf*, *Hörnli* und *Sommersberg/Pfänder*. Wie die Schüttungen der Unteren, so unterscheiden sich auch jene der Oberen Süsswassermolasse in Geröllinhalt, Schwermineralbild, Karbongehalt und Kalk/Dolomit-Verhältnis. Sie bekunden damit ebenfalls verschiedene Liefergebiete und lassen Rückschlüsse auf das tektonische Geschehen in den werdenden Alpen zu (HOFMANN, 1960 b). Durch die ausräumende Wirkung des Rhone-Eises ist das westlichste Schüttungszentrum am stärksten angegriffen worden. Es ist daher nur noch lückenhaft erhalten. Gegen Nordosten hat die Ausräumung, die bereits lange vor der letzten Vereisung eingesetzt hat und während mehrerer Eisvorstösse erfolgt ist, bis in den zentralen Aargau allmählich abgenommen.

Beim Hörnli-Fächer zeigt sich im Thurtal und im Untersee-Gebiet eine Verfingerung mit der *Glimmersand-Schüttung*, die aufgrund der Schwermineeral-Assoziation von Ostnordosten stammt. Ihr kommt während der Schüttung der Oberen Süßwassermolasse die Funktion einer gegen Westen abfließenden nordalpinen Sammelrinne zu. In sie biegt schon im Bodensee-Gebiet der Sommersberg/Pfänder-Fächer ein, der von HOFMANN (1951, 1960 a, b) als Bodensee-Schüttung bezeichnet worden ist. Später konnte HOFMANN (1969) das Glimmersand-Stromsystem über das Gebiet des Bözberg bis tief in den Berner Jura verfolgen. Dort fand er Glimmersand-Einschaltungen in den Süßwasserablagerungen von Sorvilier im Tal von Tavannes und bei Cortébert im Tal von Saint-Imier. Damit verlief der Glimmersand-Strom aus der Nordost-Schweiz offenbar zwischen den entstehenden Jura-Ketten gegen Westen.

Die Deformation des Molassebeckens und die Bildung der Jura-Synklinalen können frühestens während der Ablagerung der höchsten Meeresmolasse eingesetzt haben (vgl. S. 365). Diese reicht am Jäissberg östlich von Biel bis auf 600 m und steigt bis zum Gibloux gar auf 1200 m an. Zudem reicht sie dort bereits nicht mehr bis in die allerjüngsten Schichten.

Das Paläorelief zur Zeit der Oberen Süßwassermolasse

In der Grenzfläche Obere Meeresmolasse/Obere Süßwassermolasse zeichnet sich im Mittelland letztmals eine Ablagerungsfläche ab, deren Höhenlage einst um nahezu 0 m lag. Da die Regression vorab durch den fortschreitenden Vorbau des Schuttfächers erfolgt ist, kommt diese Fläche gleicher Fazies – mindestens im Längsprofil – auch einer solchen gleichen Alters recht nahe.

Es stellt sich nun die Frage, ob sich für das immer stärker über die ehemalige Meeresoberfläche emporragende Paläorelief der Oberen Süßwassermolasse konkrete Angaben machen lassen. Diese Gesteinsabfolge zeichnet sich, besonders in der Nordost-Schweiz, im Hörnli-Schuttfächer, durch einige Leit-horizonte aus, vorab durch den markanten, altersmässig kurzfristig geschütteten Kalk-Sandstein-Nagelfluh-Horizont des «Appenzeller-Granits». Dieser ist wohl als das Ablagerungsprodukt weiterverfrachteter Schuttmassen von nahe dem damaligen Alpenrand niedergefahrenen Bergsturzmassen oder Sackungspaketen ostalpiner Obertrias-Gesteine zu deuten. Die am Hüllistein N von Rapperswil unmittelbar darunter aufgefundene Fauna wird in die Neogen-Säugerzone 6 gestellt (BÜRGISSER, 1980, 1981). Daneben bieten sich limnische Leitniveaus sowie Bentonit-Horizonte als Korrelationsmöglichkeiten an. Sie alle erlauben jedoch nur eine *relative* Höhengliederung.

Zu einer *absoluten* Gliederung vermögen dagegen fossile Floren-Elemente, vorab in ihrer Paläoökologie recht empfindliche Arten, beizutragen. Den Floren kommt – neben ihrem Vorkommen in der Unteren Süßwassermolasse – bereits in der Oberen Meeresmolasse lokal, etwa um Wattwil und um St. Gallen, und vor allem in der Oberen Süßwassermolasse Bedeutung zu.

Die ökologischen Ansprüche einsamiger *Gleditsia* und ihr paläoorographischer Aussagewert

Bei einer *Revision* der von vielen Jungtertiär-Fundorten Mitteleuropas, so auch aus dem Untersee-Gebiet: Oehningen, Schrotzburg, Tägerwilen und Kreuzlingen-Bernrain, bekanntgewordenen fossilen Leguminosen-Gattung *Podogonium* HEER sind Früchte und Fiederblättchen als *Gleditsia*, eine Caesalpinacee, erkannt worden (GREGOR und HANTKE, 1980; HANTKE, 1980). Dabei sind die Früchte als *Gleditsia knorrii* (HEER) GREGOR, die Fiederblättchen als *G. lyelliana* (HEER) HANTKE bezeichnet worden. Bei den Fiederblättchen lassen sich zwei Formgruppen, wohl Standortvarietäten, unterscheiden: eine forma *knorrii* und eine f. *lyelliana*. Ein Vergleich mit den beiden einsamigen rezenten *Gleditsia*-Arten, *G. aquatica* MARSH. (USA) und *G. heterophylla* BUNGE (China), mit denen die fossilen Reste bestens übereinstimmen, ergibt als Lebensraum feuchte Standorte: Sümpfe, Flussufer, Alluvialböden, an denen sie mit weiteren sommergrünen Bäumen vergesellschaftet sind. Mit dem Hereinbrechen der ersten Kühlzeit im jüngeren Tertiär wurde die einsamige *Gleditsia* in Europa ausgelöscht, während sie sich in Nordamerika und in China bis heute zu behaupten vermochte.

Da die rezente *G. aquatica* im südlichen atlantischen Nordamerika, im Tal des Mississippi und in den Unterläufen seiner Zuflüsse, sowie im pazifischen Mittel-China aus ökologischen Gründen – feinstdetritische, mineralogisch aufgeschlossene, nährstoffreiche und zugleich häufig überschwemmte Böden – nur bis 150 m ü.M. ansteigt, dürfte auch die fossile europäische Form analoge Umweltansprüche gestellt haben und hierzulande ebenfalls kaum höher gestiegen sein. Dies um so mehr, als auch ihre fossilen Vergesellschaftungen bestens mit rezenten übereinstimmen. Zudem zeigt die sorgfältige Untersuchung fossiler Arten immer deutlicher, dass Pflanzen selbst über geologische Zeiträume ihre Lebensansprüche nicht ändern. Bei ihnen nicht mehr zusagenden Umweltbedingungen werden sie unbarmherzig ausgelöscht.

Nährstoffreiche, häufig überflutete Standorte mit feinstkörnigen Böden fanden sich in der Oberen Süsswassermolasse nur im unteren Mittel- und im Unterlauf grösserer Flüsse. Damit ergeben sich nun erste Hinweise zu einer absoluten Höhengliederung des Molassereliefs im Auen-Bereich des Ost-West-geflossenen Glimmersand-Stromstranges.

Die Subsidenz im Untersee-Gebiet

Im Untersee-Gebiet bietet sich zugleich die Möglichkeit, die *Subsidenz* während der Ablagerung und die spätere En-bloc-Hebung der Fundpunkte im nordöstlichen Molassebecken zu fassen. Dies vor allem deshalb, weil dort in zwei Tiefbohrungen auch die Obergrenze der Oberen Meeresmolasse – in ± 0 m – festgestellt werden konnte (U. P. BÜCHI et al., 1976). Heute liegen die

Kreuzlinger Fundstellen um 420 bzw. 480 m ü.M., die Oehninger Fundstätten um 530, 560 und 590 m. Für ihre ursprünglichen Höhenlagen sind jedoch nur 100–150 m einzusetzen. Darnach hätte sich das Gebiet der Kreuzlinger Fundstellen während der Ablagerung der Oberen Süsswassermolasse um 300–350 m gesenkt. Umgekehrt wäre es nachher, innerhalb von gut 14 Millionen Jahren, irgendwann um eben diesen Betrag wieder en bloc gehoben worden.

Höhenlagen längs des Glimmersand-Stromes, des Hörnli- und des Napf-Flusses

Da die *Gleditsia*-Fundpunkte in den oberen mittelmiozänen Glimmersanden schon nordöstlich von München einsetzen – ihre exakte stratigraphische Stellung steht allerdings noch offen – und bis in die Untersee-Gegend durchhalten (GREGOR und HANTKE, 1980), die Mündung dieses Sammelstranges ins Mittelmeer jedoch erst um Lyon erfolgt ist, dürften die Untersee-Fundpunkte kaum auf 150 m, sondern eher zwischen 100 und 150 m gelegen haben.

Vom Untersee-Gebiet aus lassen sich sowohl alpen- als auch meerwärts *zusätzliche Höheninformationen* gewinnen. Überlegungen in bezug auf die Gefällsverhältnisse des mittelmiozänen Hörnli-Flusses lassen BÜRGISSER (1980) – aufgrund der Geröllgrößen und Sedimentationserscheinungen sowie des daraus und aus der damaligen Flora (HANTKE, 1954) geschätzten Abflusses – ein recht geringes Gefälle für den *Hörnli-Schutfächer* annehmen. So konnte er nirgends Hinweise finden, wonach dieses grösser als 1° (= 17,5 m/km) gewesen wäre. Da die den Oehninger Schichten zeitlich entsprechenden Ablagerungen und ihre hangenden Konglomerate im rund 25 km weiter südlich gelegenen zentralen Hörnli-Gebiet um 120–180 m höher liegen, ergäbe sich für diesen Abschnitt ein Anstieg von 5–7 m/km (= $0,3\text{--}0,4^\circ$). Hievon entfällt wohl eine Komponente auf eine verstärkte spätere En-bloc-Hebung. Für die Konglomerat-Mergel-Assoziation des distaleren Bereiches (mit einem Konglomerat-Anteil von 1–80%) rechnet BÜRGISSER mit einem radialen Gefälle von 0,7–4 m/km, für die proximalere Konglomerat-Assoziation (über 80% Konglomerat-Anteil) mit einem solchen von 3–16 m/km. Nach diesen Angaben ergäbe sich ein weiterer Anstieg von derselben Größenordnung, für das noch um mindestens 10 km weiter südlich gelegene Alpentor nochmals maximal 100–150 m. Damit dürfte das *Alpentor* des *Hörnli-Flusses* zwischen 400 und maximal 700 m ü.M., wahrscheinlich zwischen 450 und 550 m gelegen haben. Zugleich wird auch verständlich, weshalb schon südlich des Seerückens keine einsamigen *Gleditsien* mehr wachsen konnten, während einer ihrer Begleiter, *Liquidambar* (Amberbaum), noch bis in den hinteren Thurgau nachgewiesen ist. Wenn einsamige *Gleditsien* hochkommen konnten, sind besonders Fiederblättchen stets in grösserer Zahl erhalten, wie aus den Statistiken der Untersee-Fundstellen hervorgeht.

Auch für den *Napf-Schutfächer* dürften sich analoge Gefällsverhältnisse

ermitteln lassen. Die Schüttungsaxe ist zwar etwas länger, sind doch im südlichen Aargau über längere Distanzen feinkörnige Sedimente der Oberen Süsswassermolasse erhalten. Doch ist das Gefälle der distalsten Äste ausserordentlich gering, so dass dies kaum ins Gewicht fällt. Ebenso fehlen von der Schuttfächerwurzel einige km weniger als beim Hörnli-Fluss, da die pleistozäne Ausräumung in den Quelltälern der Ilfis geringer war als im Toggenburg und in der Linthebene. Andererseits lag das Mündungsgebiet in der Gegend des Bözbergs bereits 75 km weiter westsüdwestlich und daher, gegenüber demjenigen des Hörnli-Flusses, um 30–35 m tiefer. Damit dürfte das Alpentor des Napf-Flusses ungefähr in gleicher Höhenlage, allenfalls maximal 50 m höher, also zwischen 500 und 600 m gelegen haben.

Korrelationen in der Oberen Süsswassermolasse

Auch in der Jura-Synklinale von Le Locle sind aus den heute um 1000 m Höhe gelegenen Süsswasserkalken *Gleditsia*-Reste bekanntgeworden (HEER, 1859). Da HOFMANN (1958) eine tonmineralogische Identität des in diesen Kalken eingelagerten Bentonits mit dem von ihm (1951) westlich von Bischofszell entdeckten Glasaschentuff nachweisen konnte, dürfte jener mit hoher Wahrscheinlichkeit der gleichen Aschenregen-Eruption angehören, für die HOFMANN (schr. Mitt.) ein Eruptionszentrum in der weiteren Umgebung von St. Gallen vermutet. GENTNER et al. (1963) haben für den Bischofszeller Glasaschentuff ein Alter von $14,6 \pm 0,7$ Millionen Jahren ermittelt. Da dieser anderseits im Bereich der Oehninger Schichten liegt (HOFMANN, 1951; HANTKE, 1953, 1954), dürften die Süsswasserkalke von Oehningen und von Le Locle, deren Floren und Faunen ebenfalls übereinstimmen, mehr oder weniger gleichzeitig abgelagert worden sein. Dies wird auch pflanzenökologisch unterstrichen. Einerseits ist mit *Salsola*, einem auf Salzböden auftretenden Gänsefussgewächs, am Ufer des Oehninger Maarsees eine salzanzeigende Pflanze bekannt. Dabei dürften die Salze wohl aus vulkanischen Ablagerungen ausgewaschen worden sein. Andererseits treten in den Süsswasserkalken von Le Locle kleine, von HEER (1859) als *Carpolithes parvulus* beschriebene Fruchtreste auf. In diesen konnte GREGOR (schr. Mitt.) solche von *Ruppia*, eines Laichkrautgewächses, das gerne leicht brackische Uferbereiche bevorzugt, erkennen. Ferner weist schon FAVRE (1911) auf die grosse Übereinstimmung der Fauna mit derjenigen von Steinheim nördlich von Ulm hin, so dass die Zugehörigkeit zur Neogen-Säugerzone 7, als deren Typ Steinheim gewählt worden ist, feststehen dürfte.

Glimmersand-Strom, Jura-See und Hebungsbeiträge der Faltenaxen

Für die 180 km vom Untersee bis Le Locle ist noch ein geringes Gefälle des

zur Rhone entwässernden Glimmersand-Stromes einzusetzen. Wohl finden sich in den Süsswasserkalken von Le Locle keine Glimmersand-Einschaltungen mehr; doch konnte HOFMANN (1969) solche «unterwegs», in den Ablagerungen am Bözberg, von Sorvilier und von Cortébert, nachweisen.

Bei einem minimalen Gefälle von 0,3–0,5‰ ergäbe sich für den mindestens 150 km langen Glimmersand-Strom vom Untersee-Gebiet zum Jura-See von Sorvilier–Cortébert–Le Locle eine um 45–75 m tiefere Höhenlage für den Mündungsbereich, also für das Seeufer von Le Locle noch eine Meereshöhe von 55–75 m. Dass die Antiklinalen der südlichen Jura-Ketten damals bereits aufgebrochen waren, geht aus fossilem Gehängeschutt, den Gompholits, hervor, welcher die beiden Flanken der Synklinale von Le Locle begleitet und sich mit den Süsswasserkalken und den liegenden roten Mergeln verzahnt (ROLLIER und FAVRE, 1910K; FAVRE, 1911).

Damit begann die Jura-Faltung mindestens bereits im mittleren Miozän und wurde später noch verstärkt, wobei die Süsswasserkalke mit einbezogen worden sind. Schliesslich ist das ganze Gebiet en bloc gehoben worden. Dabei dürfte die spätere Hebung der Synklinale von Le Locle mindestens 900–950 m betragen haben (HANTKE, 1980). Zugleich bekunden die Höhenlagen der Glimmersand-Einschaltungen von Sorvilier in 770 m und von Cortébert in 780 m einen axialen Anstieg der Glimmersand-Rinne um 700–750 m. Da dieser im Vergleich mit dem von LEMCKE dargelegten axialen Herausheben des Molassebeckens nur wenig geringer ist, dürfte auch dieses Ansteigen vorwiegend mit dem späteren, obermiozänen, pliozänen und noch pleistozänen Emporstau des Montblanc-Hochjura-Bereiches einhergehen. Dabei dürften beide schon im oberen Mittelmiozän einen bescheidenen Beitrag erreicht haben. Dafür spricht die offenbar bereits deutliche Faltenbildung in den südlichen Jura-Ketten. Zugleich dürfte das zentrale bis westliche schweizerische Molasseland schon zu hoch gelegen haben, als dass die Entwässerung noch durch das Mittelland und über Genf hinaus ins Rhonetal erfolgen konnte. Durch die Schüttung des Napf-Flusses und des noch reliktsch erhaltenen Gibelegg-Fächers ist dort die Landoberfläche zudem ständig erhöht worden. Heute liegt bei Guggisberg, am erosiven Westrand des Gibelegg-Fächers, die Grenze Obere Meeresmolasse/Obere Süsswassermolasse um 1150 m.

Der Abfluss des Jura-Sees

Wenn der Glimmersand-Strom im östlichen Berner Jura – in der Fortsetzung des Oberrheintal-Grabens – sich in einen grösseren See oder in eine Seen-Kette ergoss, dann dürfte er darin seine Sedimentfracht abgelagert haben, so dass westlich von Le Locle ein geklärtes, glimmersandfreies Gewässer ausgetreten und gegen Südwesten abgeflossen ist. Für die verbleibende, rund 200 km lange Stromstrecke durch erste Anlagen des heutigen Faltenjura – am ehesten wohl durch ein frühes Doubs–Bienne–Ain-Tal – in die Bresse und

weiter in den Golfe de Lion, der damals Rhone-aufwärts noch bis Lyon reichte, ergäbe sich ein Maximal-Gefälle von 0,28–0,38‰, was einen recht annehmbaren Wert darstellt. Später mag die Entwässerung kurzfristig zum Ain erfolgt sein, bevor die Abflussrichtung auch im Molassebecken nach Nordosten, zur Donau, umkippte. Spätestens nach der Vogesen-Schüttung wäre die Flussstrecke auch im Hochjura durch eine En-bloc-Hebung von rund 100 m unterbrochen worden, so dass die Entwässerung von der südwestlich von Mouthe (Doubs) neu gebildeten Sattelzone in umgekehrter Richtung, als Doubs, gegen Nordosten bis St-Ursanne erfolgt ist.

Die der Oberen Süßwassermolasse entsprechenden Sedimente im Delsberger Becken

Weitere *Gleditsia*-Reste sind aus dem westlichen Delsberger Becken von Montavon aus Mergeln unter den Vogesen-Sanden bekanntgeworden. Während bisher zwischen den Süßwasserkalken von Le Locle und den feinkörnigen Ablagerungen von Montavon mit einer bedeutenden Schichtlücke gerechnet worden ist, scheint es wahrscheinlicher, dass die früheste Vogesen-Schüttung im Delsberger Becken nahtlos an die Ablagerungen in der Synklinale von Le Locle anschliesst. Es ist unwahrscheinlich, dass die in Le Locle vorgekommenen *Gleditsia* nach dem Versiegen des Glimmersand-Stromes, der Verlandung des Jura-Sees und der Umkehr der Entwässerung im Molassetrog gegen Ostnordosten ausgelöscht wurde und später im westlichen Delsberger Becken, im Überschwemmungsbereich eines Vogesen-Flusses, sich von imaginären Reliktstandorten aus wieder neu angesiedelt hat. Vielmehr muss dieser zunächst durch die tektonisch angelegte und vorerst noch in umgekehrter Richtung, von N nach S, benutzte Klus von Courrendlin gegen Moutier und weiter in den Jura-See geflossen sein. Damit würde die Entstehung der tektonischen Störungen folgenden Klusen bereits ins obere Miozän fallen. Später, mit der Umkipfung der Entwässerung im Molassebecken, hat auch der Vogesen-Fluss seinen Weg ebenfalls gegen Osten gefunden.

Wie die Sedimentabfolge am Südrand des Delsberger Beckens zeigt, leiten westlich von Courrendlin rote Mergel in Sande mit *Dinotherium bavaricum* über. Darüber folgen weiter nordwestlich die Vogesen-Sande, die in der Ajoie die *Hipparion*-Fauna von Charmouille geliefert haben (SCHAEFER und ZAPFE, 1971). Diese Fauna ist nach H. TOBIEN (mdl. Mitt.) einerseits mit derjenigen vom Höwenegg, die durch Tuffe mit 10,8 Millionen Jahren datiert ist, und andererseits mit derjenigen von Eppelsheim im Mainzer Becken zu vergleichen und ist damit in die Neogen-Säugerzone 9 zu stellen. Darüber liegen die Vogesen-Schotter, deren Herkunft durch über faustgrosse Gerölle aus den Südvogesen feststeht (LINIGER, 1925; KELLER und LINIGER, 1930K). Diese dokumentieren ohne Zweifel kühlzeitliche Ablagerungen. Dabei dürften die Hochflächen der Vogesen bereits vereist gewesen sein, so dass Ausbrüche von

Schmelzwasserseen die Schuttfracht bis ins Delsberger Becken brachten. Erst diese kühlzeitlichen Ablagerungen sind allenfalls mit denen des Messinian, dem obersten Miozän der Mittelmeerländer mit der Zeitmarke vor 5,2 Millionen Jahre, zu verbinden. Naturgemäss hätte eine erste Kühlzeit eine erste bedeutende Absenkung des Weltmeer- und damit auch des Mittelmeerspiegels zur Folge gehabt. Eine Vergrösserung der Landmassen hätte dort eine Verstärkung des steppen- bis wüstenartigen Klimacharakters bewirkt.

Im Molassebecken der Nordost-Schweiz hätte sich die Zeit der Vogesen-Schotter, von HOFMANN (1959, 1973) und HANTKE (1979, 1980) noch ins Pliozän gestellt, in der jüngsten Molasse-Schüttung am Tannenbergrand nordwestlich von St. Gallen niedergeschlagen, die mit ihren ebenfalls bis über faustgrossen, vorwiegend aus Flysch-Geröllen aufgebauten Sedimenten im Alpenraum eine erste Kühlzeit bekundet.

Die Faltenbildung im nordwestlichen Jura

Erst nach der Schüttung der Vogesen-Schotter erfolgte zwischen dem Delsberger Becken und der Ajoie der Aufstau der Caquerelle-Kette. Während die *Gleditsia*-Fundstelle an ihrem Südost-Rand heute um 600 m liegt, reichte die Landoberfläche zur Zeit der feinstkörnigen tiefsten Vogesen-Schüttung ebenfalls maximal bis auf 150 m, so dass die spätere Hebung der SE-Flanke der Caquerelle-Kette mindestens 450 m betragen hat.

Erst nach der Schüttung der Vogesen-Schotter vollzog sich der Aufstau der Caquerelle-Kette, die heute auf der Passhöhe bis auf 840 m, im Ordon bis auf 950 m ansteigt; damit ergäbe sich eine Hebung von 700–750 m.

Zitierte Literatur

- BÜCHI, U. P., SCHLANKE, S., u. MÜLLER, E. (1976): Zur Geologie der Thermalwasserbohrung Konstanz und ihre sedimentpetrographische Korrelation mit der Erdölbohrung Kreuzlingen – Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing., 42/103: 25–53.
- BÜRGISSER, H. M. (1980): Zur mittelmiozänen Sedimentation im nördlichen Molassebecken: Das «Appenzellergranit»-Leitniveau des Hörnli-Schuttfächers (Obere Süsswassermolasse, Nordostschweiz) – Diss. Geol. Inst. ETH, Zürich.
- (1981): Zur zeitlichen Einordnung der Oberen Süsswassermolasse in der Nordost-Schweiz – Vjschr. Natf. Ges. Zürich, 126/2, im Druck.
- DIEBOLD, P., LAUBSCHER, H. P., SCHNEIDER, A., u. TSCHOPP, R. (1963 K): Blatt 1085 St-Ursanne, mit Erläuterungen – Geol. Atlas Schweiz – Schweiz. Geol. Komm.
- FAVRE, J. (1911): Description géologique des environs du Locle et de la Chaux-de-Fonds – Eclogae geol. Helv., 11/4: 369–475.
- GENTNER, W., LIPPOLT, H. J., u. SCHAEFER, O. A. (1963): Argonbestimmung an Kaliummineralien XI. Die Kalium-Argon-Alter der Gläser des Nördlinger Rieses und der böhmisch-mährischen Tektite – Geochim. cosmochim. Acta, 27 – London.
- GREGOR, H.-J., u. HANTKE, R. (1980): Revision der fossilen Leguminosengattung *Podogonium* HEER (= *Gleditsia* LINNÉ) aus dem europäischen Jungtertiär – Feddes Repertorium, 91/3: 151–182.

- HANTKE, R. (1953): Gliederungsversuch der Oberen Süsswassermolasse im Gebiet der Hörnli-schüttung – *Eclogae geol. Helv.*, 46/1: 1–8.
- (1954): Die fossile Flora der obermiozänen Oehninger-Fundstelle Schrotzburg (Schienerberg, Süd-Baden) – *Denkschr. Schweiz. Natf. Ges.*, 80/2: 27–118.
- (1979): Die Geschichte des Alpen-Rheintales in Eiszeit und Nacheiszeit – *Jber. Mitt. oberh. geol. Ver., N. F.*, 61: 279–295.
- (1980): Die Bedeutung der als ausgestorben betrachteten Leguminosen-Gattung *Podogonium* HEER (= *Gleditsia* L.) für die Obere Süsswassermolasse und für die Vogesen-Schüttung im Delsberger Becken (Jura) – *Eclogae geol. Helv.*, 73/3: 1031–1043.
- HEER, O. (1859): *Flora tertiaria Helvetiae*, 3 – Winterthur.
- HOFMANN, F. (1951): Zur Stratigraphie und Tektonik des st. gallisch-thurgauischen Miozäns und zur Bodenseegeologie – *Jb. st. gall. natw. Ges.*, 74: 3–87.
- (1957): Pliozäne Schotter und Sande auf dem Tannenbergr NW St. Gallen – *Eclogae geol. Helv.*, 50/2: 477–482.
- (1958): Das Bentonitvorkommen von Le Locle – *Eclogae geol. Helv.*, 51/1: 65–71.
- (1960a): Beitrag zur Kenntnis der Glimmersandsedimentation in der oberen Süsswassermolasse der Nord- und Nordostschweiz – *Eclogae geol. Helv.*, 53/1: 1–27.
- (1960b): Materialherkunft, Transport und Sedimentation im schweizerischen Molassebecken – *Jb. st. gall. natw. Ges.*, 76: 51–76.
- (1969): Neue Befunde über die westliche Fortsetzung des beckenaxialen Glimmersand-Stromsystems in der Oberen Süsswassermolasse des schweizerischen Alpenvorlandes – *Eclogae geol. Helv.*, 62/1: 279–284.
- (1973 K): Blatt 1074 Bischofszell, mit Erläuterungen – *Geol. Atlas Schweiz – Schweiz. Geol. Komm.*
- KELLER, T. W., u. LINIGER, H. (1930 K): Blätter 92–95 Movelier–Soyhières–Delémont–Courrendlin – *Geol. Atlas Schweiz – Schweiz. Geol. Komm.*
- LEMCKE, K. (1972): Die Lagerung der jüngsten Molasse im nördlichen Alpenvorland – *Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing.*, 39/95: 29–41.
- (1981): Das heutige geologische Bild des deutschen Alpenvorlandes nach drei Jahrzehnten Öl- und Gasexploration – *Eclogae geol. Helv.*, 74/1, im Druck.
- LINIGER, H. (1925): Geologie des Delsberger Beckens und der Umgebung von Movelier – *Beitr. geol. Karte Schweiz, N. F.*, 55/4: 1–71.
- ROLLIER, L., et FAVRE, J. (1910 K): Carte géologique des Environs du Locle et de La Chaux-de-Fonds – *Carte spéc.*, 59 – *Comm. géol. Suisse*.
- SCHAEFER, H., u. ZAPFE, H. (1971): *Chalicotherium grande* BLAINV. und *Chalicotherium goldfussi* KAUP – Odontologische und osteologische Unterschiede – *Verh. natf. Ges. Basel*, 81/2: 157–199.
- WÜRTEMBERGER, TH. (1906): Die Tertiärflora des Kantons Thurgau – *Mitt. thurg. natf. Ges.*, 17: 3–44.