Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern

Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Luzern

Band: 34 (1996)

Artikel: Zerrungstektonik in der flachliegenden Molasse des nördlichen Napfgebietes und ihre Auswirkungen auf die Talgeschichte

Autor: Müller, Benjamin U.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-523642

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 11.07.2025

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

Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern | Band 34 1995

Zerrungstektonik in der flachliegenden Molasse des nördlichen Napfgebietes und ihre Auswirkungen auf die Talgeschichte

BENJAMIN U. MÜLLER

Zusammenfassung

Die aussergewöhnliche Bruchzone am Bodenberg nördlich Zell LU zeichnet sich durch eine bimodale Verteilung der Bruchflächenorientierungen aus. Horst-Graben-Strukturen im 10-m-Massstab lassen ebenfalls auf einen Extensionsmechanismus schliessen. Das generelle Streichen der beiden Hauptsysteme verläuft NNW/SSE, die Streuung beträgt 60 Grad.

Die beobachtete, gestaffelte Zerbrechung mit Anzeichen für Zerrung kann am ehesten als Folge einer tiefliegenden Aufschiebung im liegenden Mesozoikum gedeutet werden, in deren Dach Zerrungsstrukturen denkbar sind. Eine lokale Einsenkung im Südschenkel der beschriebenen Bodenberg-Antiform zwischen Zell und Hüswil kann möglicherweise mit der Talbildung des Lutherntales in Verbindung gebracht werden. Der Grund für diese Einsenkung und die Datierung dieser tektonischen Ereignisse sind Gegenstand weiterer Abklärungen (MÜLLER & SCHOTT, in Vorb.).

Als weitere Besonderheit wurde ein gehäuftes Vorkommen von Palygorskit auf und an den Bruchflächen nachgewiesen. Die Bildungsumstände dieser Kluftbeläge sind noch nicht im Detail bekannt; Feldbeobachtungen sprechen aber für eine Genese im Zusammenhang mit der mechanischen Dynamik während des Zerbrechens der Nagelfluhpakete am Bodenberg, da sich der Palygorskit nur in den kakiritisierten Zonen entlang der Brüche mit grösseren Versetzungsbeträgen zu bilden vermochte.

Résumé

La découverte d'une zone fortement fracturée dans la molasse plate des gravières de la région de Zell LU, au pied nord du Napf, demande une correction de l'application de théorie de la tectonique des plaques du plateau suisse. 34 fractures normales apparaissent dans une distribution bimodale conjugée. Une structure de «Horst-Graben» pointe vers une formation de ces phénomènes dans un contexte d'extension. L'orientation générale des fractures observées est de NNW/SSE dans un secteur de 60 degrés.

A première vue, ces fractures d'un caractère partiellement listrique pourraient être causées par un glissement de masse strictement graviative, qui a commencé dans des fissures de décompression. Nos récentes investigations nous ont guidés vers un mécanisme de formation lié à un cherriage dans les sédiments du Mésozoique restant sous la molasse. Au top de cette antiforme – décrite par le niveau d'élévation du poudingue basale de la «St. Galler Formation» (OMM) – un milieu d'extension assez évident.

En plus on peut prouver qu'il existe une relation directe entre l'orientation des fractures plus importantes et la formation de la vallée du Fischbach, près de la zone fracturée. La région du

Bodenberg au nord de Zell est alors un des rares exemples où il est possible de prouver cette relation souvent décrite dans la littérature ancienne.

Une autre structure de «Graben» découverte récemmant à l'ouest de Zell peut être liée à la formation de la vallée de la Luthern, la vallée la plus importante de la région du Napf.

Un phénomène très spécial concerne la microtexture des zones de fracturation elles-mêmes. Dans les plaines à fractures, il est possible de trouver un minéral argileux rarement décrit en Suisse: le palygorskite. Dans un épaisseur de 1 à 3 cm le palygorskite (avec une texture atomique de Hornblende) remplace le poudingue molassique totalement pulvérisé dans les zones de mouvement. La formation de ce minéral habituellement d'origine sédimentaire, montre, dans ce cas là une relation directe avec le dynamisme du mouvement des fractures. Une formation dynamométamorphosique du palygorskite devient évident.

Abstract

A fault zone within the unfolded Swiss Plateau Molasse can be observed in an open quarry at Bodenberg near Zell LU. A total of 34 faults is arranged in a bimodal way. «Horst-Graben»-structures are evidence of extensional tectonics. The general orientation of the faults is in a NNW/SSE direction within a sector of about 60 degrees.

The partly listric faults observed at Bodenberg could be caused by gravitative mass movements triggered by decompression fissures. The most probable mechanism for the genesis of the extensional fault system is a local overthrust structure in the Mesozoic beds below the Molasse sediments. This overthrust caused an extensional regime in the roof of the overlying Molasse beds. A connection between the orientation of the Fischbach Valley, the main valley in the surroundings of Bodenberg, and the fault orientation is quite clear, so that this locality of Bodenberg is one of the first outcrops where we can prove a fault-driven mechanism in valley formation within the Swiss Plateau Molasse. Another tectonical feature («Graben»-structure) in the southern part of the Bodenberg antiform can hypothetically be connected with the valley formation of the Luthern Valley.

Another new observation is related to the mineralogy of this fault zone. The most important faults are covered by a layer of palygorskite (1 to 3 cm thick). This clay mineral has a crystal structure similar to some hornblende minerals. It seems to have replaced the tectonically modified Molasse conglomerate along the faults. The thickness of the possibly dynamometamorphic palygorskite layer is a function of the fault intensity.

Einleitung

Tektonisch interessante Phänomene sind in der flachliegenden, mittelländischen Molasse in der Schweiz selten. Dies galt bis anhin auch für das nördliche Napfgebiet (Kanton Luzern und Bern), wo die wenigen bisher in der Literatur beschriebenen Brüche keine oder nur unbedeutende Versetzungsbeträge (< 4 m) aufweisen (GERBER, 1984). Andere stellen gar keine Bruchstrukturen dar, sondern müssen bei näherer Betrachtung als sedimentäre oder frühdiagenetische Erscheinungen (z. B. cutting channels bzw. compaction faulting) gedeutet werden.

Einen Spezialfall stellt deshalb der Bodenberg (LK: 636 250/222 100) nördlich Zell LU dar, wo im Jahre 1988 erstmals bedeutende tektonische Strukturen (gestaffelte Bruchsysteme) beschrieben worden sind (MÜLLER, 1988). Infolge zwischenzeitlich schlechter Aufschlussverhältnisse in den dortigen Nagelfluh-Abbaustellen konnte erst im Winter 1993/94 die Bearbeitung der dort beobachteten Phänomene wieder aufgenommen werden. Bedingt durch den erneuten Nagelfluh-Abbau wurden die ursprünglichen Aufschlüsse wieder vom Schutt gesäubert und zum Teil beträchtlich vergrössert.

Die besagten Nagelfluhgruben liegen in knapp 700 m Höhe am Südhang des Bodenbergs östlich des Weilers Leimbütz. Stratigraphisch befinden sich die Aufschlüsse in der Basiskonglomerat-Zone der Schüpferegg-

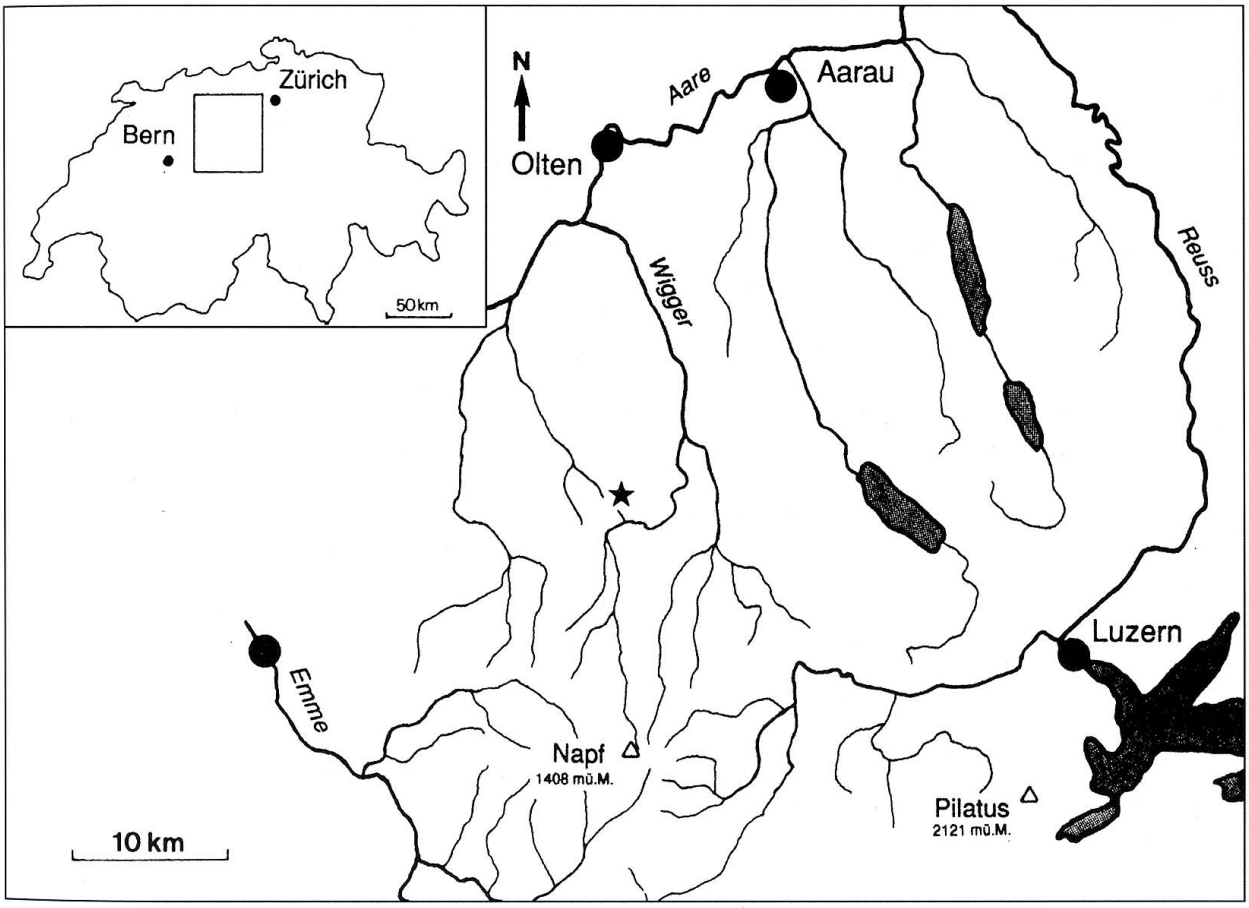

Abb. 1: Geographische Übersicht.

Nagelfluh (? Helvetien sensu GERBER, 1984), die zur Oberen Meeresmolasse (OMM) gerechnet wird. Das Schichtfallen beträgt regional etwa 2 bis 3° in südöstlicher Richtung. An grosstektonischen Erscheinungen sind nur die von GERBER (1984) beschriebenen, flachen Syn- und Antiklinalstrukturen von Altishofen bzw. Huttwil erwähnenswert. Der Bodenberg soll in einer solchen in etwa WSW/ENE verlaufenden Antiklinale liegen, ohne dass diese Geometrie im Feld tatsächlich völlig nachvollziehbar wäre. Direkt messbar ist im Feld nur das erwähnte schwache Südostfallen, das im Süd-/Nordquerschnitt von Ruefswil bis zum Bodenberg (also über ca. 5 km) verfolgbar ist.

Beschreibung der Aufschlüsse

Die beiden Nagelfluhgruben am Bodenberg liegen unmittelbar nördlich der Strasse Leimbütz–Bodenberg. Die tiefergelegene, westliche Grube (in der Folge «untere Grube» genannt) liegt knapp unter 700 m, die obere Grube etwas über 700 m ü. M. Sie weisen heute Grundflächen von ca. 2500 bzw. 3000 m² auf und schliessen an ihren Nord- und Ostseiten Nagelfluhwände von 20 bzw. 10 bis 15 m Höhe auf. Nur im oberen Teil der oberen Grube stehen untergeordnet auch Sandsteine an.

In beiden Gruben fallen auf den ersten Blick nebst ungewöhnlich steilen Schichtorientierungen kräftige, meist völlig lineare

Abb. 2: Ansicht einer Grubenwand in der unteren Grube (Blickrichtung NE).

Strukturen auf, die sich bei näherer Betrachtung als Bruchflächen entpuppen. Unregelmässig über die Grubenwände verteilt, sich teilweise schneidend, konnten bis heute in beiden Gruben total 34 solcher Brüche eingemessen werden. Typisch sind dabei die steilen Fallwinkel zwischen 45 und 90 Grad, mit einem Median bei etwa 70 Grad. Die Versetzungsbeträge variieren zwischen Null und > 4m. Vor allem Brüche mit grossen Versetzungen weisen an ihren Bruchflächen eine starke Kakiritisierung («Zerreibung») der Nagelfluhgerölle und der Matrix auf. Sogar äusserst widerstandsfähige Lithologien wie Quarzite und gewisse mikritische Kalke wurden in diesen bis zu 10 cm mächtigen Scherzonen zu Pulver zerrieben. Die eigentlichen Bruchflächen werden in diesen Fällen von einem hellbeigen bis alabasterrosafarbenen Mineral gebildet, das teilweise schöne Rutschharnische zeigt. Am prominentesten Bruch in der unteren Grube (275/66) kann anhand der in der Nagelfluh erkennbaren Schleppung ein dextraler Bewegungssinn festgestellt werden (Abb. 2).

An Brüchen mit kleinen oder nicht messbaren Versetzungsbeträgen fehlt der Kluftbelag, sodass diese oft nur an den zerbrochenen Geröllen erkannt werden können.

Als speziell interessant erweist sich mit fortschreitendem Abbau die obere Grube, wo eine deutliche Horst-Graben-Struktur zum Vorschein gekommen ist, während in der unteren Grube und im westlichen Teil der oberen Grube nur einfache bzw. gestaffelte Bruchsysteme vorliegen.

Der summierte Bewegungsbetrag der ganzen Bruchstaffel muss beträchtlich sein, zeigt doch die Nagelfluh in den Aufschlüssen ein Schichtfallen von 15 bis 28 Grad in nördlicher bis nordöstlicher Richtung.

Strukturgeologische Bearbeitung

Eine schematische Übersichtsskizze der lokalen Schichtorientierungen gibt erste Anhaltspunkte über den tektonischen Rahmen der beschriebenen Aufschlüsse.

Die Entstehung dieser stark abweichenden Schichtorientierungen in der sonst ungestörten, flachliegenden Molasse des nördlichen Napfs sollte über eine detaillierte strukturgeologische Bearbeitung der im Feld beobachteten Strukturen rekonstruiert werden. Zu diesem Zweck wurde eine neue Kartierung der Basis der Basisnagelfluh der St. Galler Formation (OMM) angefertigt und in einem Isolinien-Bild dargestellt (Abb. 8). Die Höhenlage dieses im Feld gut kartierbaren Nagelfluhbandes ist die beste Methode, die grössere Regionaltektonik darzustellen, da direkte Schichtorientierungs-Messungen bei den sehr flachen Einfallen in den kleinen Aufschlüssen kaum aussagekräftige Resultate ergeben. Unter der Voraussetzung, dass wir grössere Erosionserscheinungen an der Basis der St. Galler

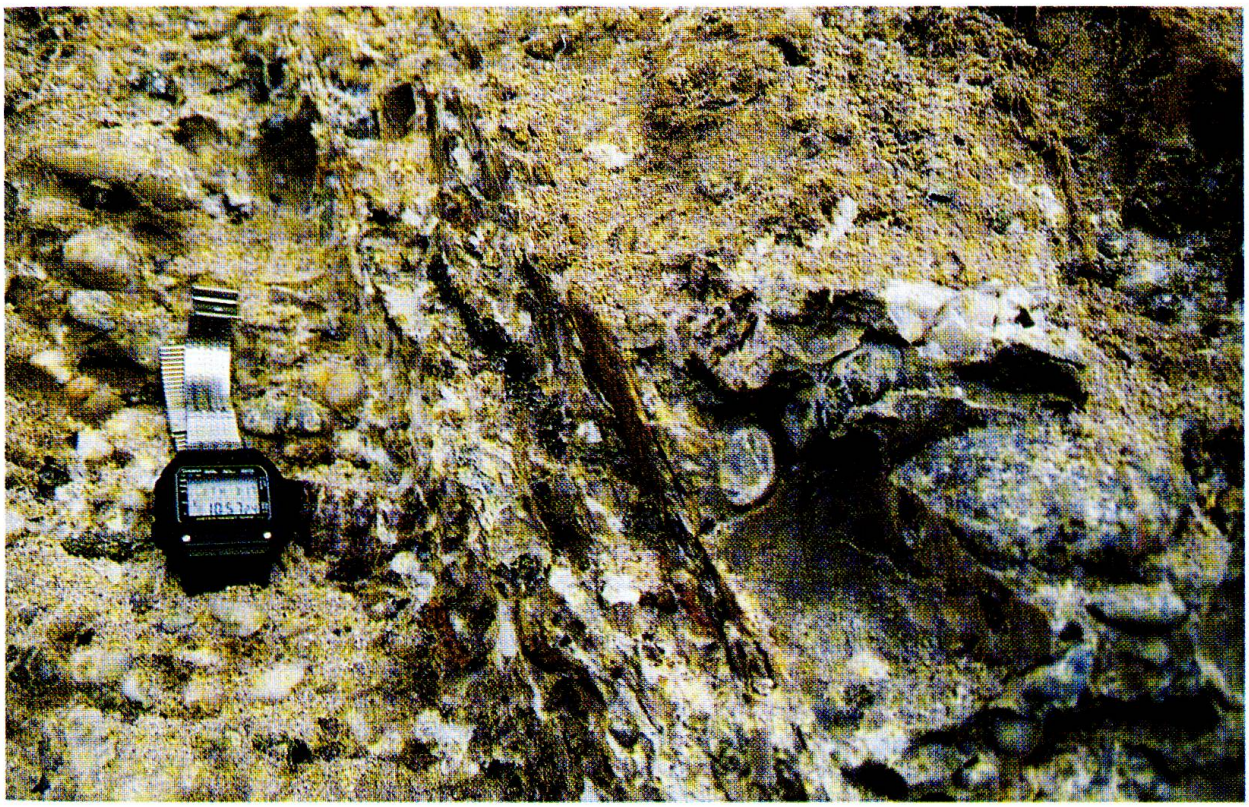

Abb. 3: Bruchzone mit Kakiritisierung und Kluftbelag (obere Grube, Nordwand).

Abb. 4: Bruchzone mit zerbrochenen Geröllen.

Abb. 5: Grabenstruktur obere Grube (Nordwand, Bildhöhe = ca. 8 m).

Formation ausschliessen dürfen, zeigt sich eine interessante WSW/ ENE verlaufende, tektonische Aufwölbung mit einer merkwürdigen Eindellung zwischen Hüswil und Zell (siehe Abb. 8). Der Bodenberg mit seinen Bruchstrukturen liegt nun ziemlich genau am Scheitel dieser Antiform. Alle 34 dort eingemessenen Bruchflächen wurden in einem nächsten Schritt mit Stereoplot 3.0 für Macintosh bearbeitet. Dabei ergab sich eine typische Zweiteilung der Werte für die Bruchflächenorientierungen des für statistische Zwecke allerdings etwas knappen Datensatzes. Die Messwerte der unteren Grube (Abb. 7) zeigen eine Häufung um 273/63, was recht gut mit der gemessenen Orientierung des prominentesten Bruchs in dieser Grube (275/66) übereinstimmt (siehe auch Abb. 2).

Die obere Grube zeigt eine etwas andere Verteilung der Messwerte. Sie zerfallen in zwei verschiedene Gruppen, die auf ein konjugiertes Bruchsystem schliessen lassen. Infolge der wenigen Messwerte können für beide Gruppen keine vernünftigen «best-fit» – Grosskreise («Mittelwerte») gezeichnet werden. Der Median der grösseren der beiden Werte-Gruppe (n = 14) liegt bei 65/70. Zur besseren Übersichtlichkeit wurden hier nur die konturierten Dichteverteilungs-Darstellungen abgebildet (Abb. 7). Die oberen beiden Darstellungen zeigen je die untere bzw. obere Grube. Die dritte Abbildung ist eine Kombination aller eingemessenen Bruchflächen. Das konjugierte Bruchsystem, das durch die Darstellung zum Ausdruck kommt, lässt, wie schon die gezeigte Grabenstruktur, ebenfalls auf Extensionstektonik schliessen.

Die Daten der teilweise auf den Bruchflächen messbaren Rutschharnische liegen ähnlich, sind aber infolge ihrer geringen Anzahl kaum statistisch zu interpretieren. In den meisten Fällen zeigt sich dabei eine

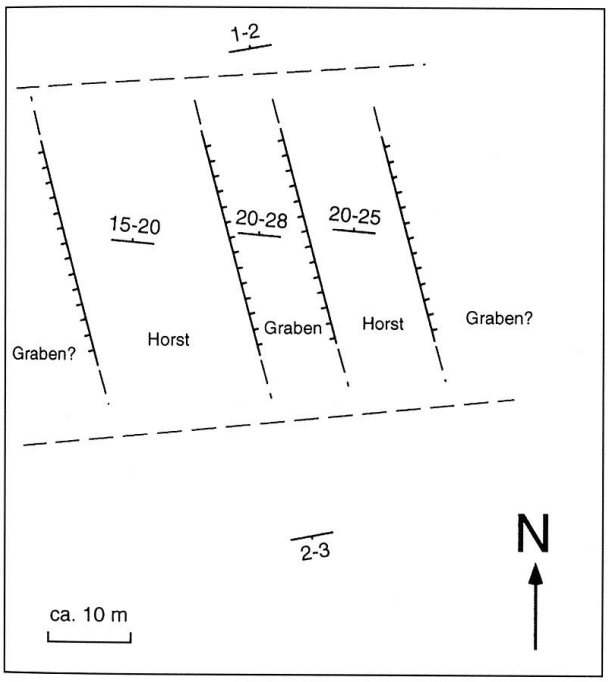

Abb. 6: Tektonische Übersicht (schematisch).

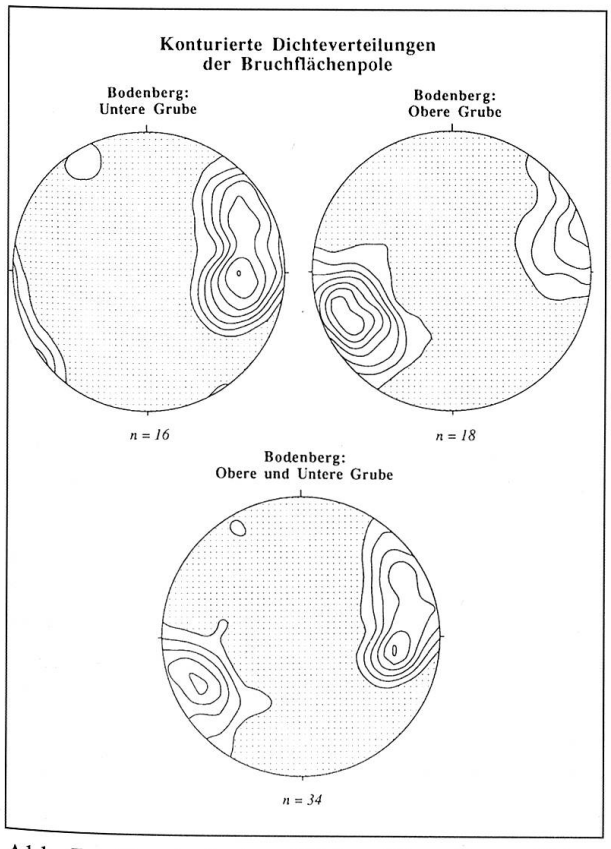

Abb. 7: Konturierte Dichte-Verteilungs-Diagramme der Pole der Bruchflächen in der unteren Halbkugel: untere Grube (oben links), obere Grube (oben rechts) und die Kombination beider Gruben (unten).

hangauswärts gerichtete, süd-/südwestliche (letzte ?) Bewegungskomponente, die stärker wird, je tiefer man in der aufgeschlossenen Schichtreihe nach unten kommt.

Mineralogische Untersuchungen der Kluftminerale

Zur Charakterisierung der teilweise massig ausgebildeten (1 bis 3 cm Dicke !) und auffällig herauswitternden Kluftmineralien wurden folgende Untersuchungen angestellt:

Ein Dünnschliff senkrecht zur Bruchfläche ergab keine Resultate bedingt durch die schlechte Schleifbarkeit des Materials. Ein parallel zur Bruchfläche angefertigter Anschliff hingegen zeigt eine undefinierbare, feinkörnige Matrix, die angelöst erscheinende Geröllreste umschliesst. An einem anderen Hangstück zeigt die Mineralneubildung eine laminare Struktur. Die Farbe geht von Beige bis zu einem feinen Alabasterrosa; die Rutschharnische und damit die Bewegungsflächen dagegen zeigen rostrote bis schmutzig-grün-braune Farbtöne.

Die röntgendiffraktometrische Analyse erlaubte eine Identifikation der Mineralneubildung als reinen Palygorskit (auch «Bergschnuder» oder «Bergleder» genannt) mit der chemischen Formel $Mg_5(Si, Al)_8 O_{20} (OH)_2 \cdot 8H_2O$. Palygorskit ist ein Tonmineral der Sepiolit-Attapulgit-Gruppe, die als Besonderheit eine amphibolähnliche Struktur aufweist (MÜLLER-VON MOOS et al., 1976). Anhand des makroskopischen Aussehens müsste es sich in unserem Fall eher um die laminare, kurzfaserige Varietät von Palygorskit handeln, der auch als relativ kompaktes Mineral auftreten kann. In der älteren Literatur wird er noch als Attapulgit bezeichnet. MILLOT (1970) weist auf dieses Nomenklaturproblem speziell hin. Ich werde im weiteren nur noch den Begriff Palygorskit verwenden, da dies auch der eigentliche Gruppenname ist.

Laut einer mündlichen Mitteilung von A. STAHEL (ETH Zürich) zeigt die geröntgte Probe eine grosse Reinheit, die praktisch

den Standardwerten entspricht. Lediglich eine unbedeutende Verunreinigung mit Quarz konnte nachgewiesen werden.

Ein anderes Palygorskitvorkommen von unterschiedlicher Ausprägung wurde in der Schweiz schon von K. VON SALIS (1965) in tortonen Molassesandsteinen um Wolhusen LU beschrieben. Bei diesen Bildungen soll es sich ebenfalls um einen Kluftbelag, aber mit grossblättrig-ledrigem Habitus gehandelt haben. VON SALIS interpretierte das Mineral als Ausfällung aus niedrig temperierten Lösungen. MÜLLER-VON MOOS & SCHINDLER (1974) beschrieben Palygorskit auf tektonischen Verschiebungsflächen im helvetischen Kieselkalk. Von einem Vorkommen in einer Molassenagelfluh mit dieser Mächtigkeit und Gestalt mit einer relativ hohen Härte war bisher in der schweizerischen Literatur nichts bekannt.

Eine weitere Besonderheit des Palygorskits vom Bodenberg besteht in seiner grossen Verwitterungsbeständigkeit, die es den Kluftbelägen erlaubte, als Härterippen aus der Nagelfluh hervorzuwittern. Dies steht im Gegensatz zu MILLOT (1970), der bemerkt, dass Palygorskite unter sauren Bedingungen (z. B. Pedogenesen) rasch verwittern.

Die Bildung von Palygorskit kann nach MILLOT (1970) unter sehr unterschiedlichen Bedingungen erfolgen:

- sedimentär: marin, in alkalisch bis hypersalinem Milieu, sowie lakustrin;
- hydrothermal: z. B. aus Tiefenwässern in Silikatgesteinen;
- diagenetisch bzw. metamorph (selten).

Eine sedimentäre Bildung kann am Bodenberg zum vornherein ausgeschlossen werden. Aufgrund seines massigen Habitus dürfte auch eine hydrothermale Bildung unwahrscheinlich sein, zumal hydrothermale Erscheinungen im nördlichen Napf völlig fehlen. Die Mitwirkung von mineralisierten Lösungen ist aber trotzdem denkbar, zumal die «Rohstoffe» zur Bildung von Palygorskit wie Mg, Al und Si relativ einfach aus der pulverisierten Nagelfluh in den Bruchzonen herauszulösen sind. Die kakiritisierten Zonen im Gestein sind möglicherweise nach und nach unter Einwirkung dieser Lösungen durch Palygorskit ersetzt worden. In einer späteren Bewegungsphase müsste der Palygorskit dann seinerseits deformiert worden sein.

Wahrscheinlicher ist, vor allem aufgrund des Feldbefundes, eine Mineralgenese während der Zerbrechung der Nagelfluh am Bodenberg. Das Vorkommen von Palygorskit hält sich streng an die Bruchzonen. An bestimmten Stellen ersetzt die Palygorskitmasse eindeutig die pulverisierte Nagelfluh. Ein Zusammenhang zwischen den Versetzungsbeträgen und der Mächtigkeit des Palygorskithorizontes ist offensichtlich. Wäre die Bildung des Palygorskits nur aus kühlen, wässerigen Lösungen erfolgt, hätte das Wasser wohl ungeachtet des Versetzungsbetrages durch alle Schwächezonen dringen können. Eine dynamometamorphe Komponente bei der Bildung der Palygorskitvorkommen am Bodenberg kann also angenommen werden.

Plastizitätsuntersuchungen in einem durchgewitterten, diamiktischen Lockergestein im Hangenden der Nagelfluhaufschlüsse ergaben einen sehr hohen Montmorillionitgehalt im Sediment. Dieses Tonmineral kann nach MILLOT (1970) unter gewissen Bedingungen ein Abbauprodukt von Palygorskit sein. Einerseits lässt dies den Schluss zu, dass einst grosse Mengen von Palygorskit vorhanden gewesen sind, deren Verwitterungsprodukte wir heute finden. Andererseits ist aber auch ein umgekehrter Mechanismus denkbar. Der Montmorillionit in der quartären Deckschicht (entstanden aus Verwitterung glazialer Sedimente) könnte im Laufe der Pedogenese von oben in die Bruchzonen eingeschwemmt worden sein. Dort hätte dann während einer erneuten Aktivierung der Bruchflächen dynamometamorph die Umwandlung zu Palygorskit stattgefunden.

Interpretation

Im Zusammenhang mit der Bildung des Palygorskits auf den Bruchflächen wurde

schon über die Entstehungsbedingungen der Bruchzone am Bodenberg diskutiert. Zusammenfassend sollen hier mögliche Mechanismen und deren Ursachen aufgeführt werden. Auch stellt sich die Frage nach einem Zusammenhang mit der lokalen Talgeschichte. Folgende Bildungsszenarien kommen für die Entstehung der Bruchzone am Bodenberg in Frage:

- Ein Zusammenhang mit den grossen, jungtertiären Transversalverschiebungen (BURKHARD, 1990), die von den Alpen zum Jura streichen und auch die Molasse durchschlagen, wäre infolge der teilweisen NNW/SSE–Orientierung der Brüche denkbar. Dabei ist allerdings unklar, weshalb sich diese «transverse faults» nur gerade am Bodenberg an der Oberfläche so deutlich zeigen sollten. Zudem stehen die Bruchflächen für diesen Mechanismus wohl etwas zu flach. Eine in etwa beckenparallele Extension in der flachliegenden Molasse, hervorgerufen durch die Kompression des Molassebeckens während der Jurafaltung, ist aber wahrscheinlich und drückt sich vermutlich auch in den hypothetischen Grabenbrüchen des Hallwiler-, Baldegger- und des Sempachersees aus.
- Da sich der Bodenberg in einer von GERBER et al. (1984) propagierten, ungefähr West/Ost-laufenden Antiklinalstruktur befinden soll, wäre denkbar, dass der spezielle Typ von feinkörniger Nagelfluh bei der Verbiegung lokal ein sprödes Verhalten zeigte, so dass sich deshalb im Dach der Struktur eine Zerrungstektonik ausgebildet hätte. Um die NNW/SSW-Orientierung der Brüche befriedigend erklären zu können, müsste aber zusätzlich noch eine Verbiegung der Faltenachse stattgefunden haben. Im Feld können aber keinerlei Anzeichen dafür gefunden werden. Im übrigen gilt dies auch für die Antiklinalstruktur als solche. Die regionale Tektonik in den angrenzenden Gebieten scheint zu schwach, um die doch beträchtliche Zerbrechung am Bodenberg zu erklären. Zudem wäre diese Struktur die einzige aufgebrochene Antiklinale in der mittelländischen Molasse, die von der Erosion verschont geblieben wäre und die heute im Gelände eine «positive Morphologie», also einen Rücken, bildet.
- Das erosive Einschneiden des Fischbachtales hat möglicherweise zu einem Massenungleichgewicht am Westende des Bodenbergs geführt. Grössere Nagelfluhpakete könnten dadurch gestaffelt, entlang von Entlastungsklüften (Talklüftung) weggebrochen und gravitativ abgesackt sein. Toneinlagerungen in den Bruchflächen könnten in der Folge die Reaktivierung dieser Brüche erleichtert haben. Dabei wäre es dann auch zur dynamometamorphen Bildung des Palygorskits gekommen. Das leichte Südfallen der Schichten und die feinkörnigen, teils tonig-siltigen Sedimente im Dach der Luzerner Formation – also im Liegenden der Nagelfluhzone – könnte die Ausbildung eines Abscher- bzw. Gleithorizontes an der Basis begünstigt haben. Für einen solchen Bewegungsmechanismus spricht auch die Anordnung der Rutschharnische auf den Gleitflächen, die immer eine hangauswärts gerichtete Komponente enthält, die sich an der Basis der Gruben tendenziell verstärkt. Die verschiedenen Orientierungen der Brüche in der unteren und oberen Grube werden aber durch diesen Mechanismus nur ungenügend erklärt. Zudem kann die extreme Kakiritisierung («Zerreibung») der miozänen Nagelfluh mit solchen oberflächennah stattfindenden Bewegungen nicht erklärt werden.
- Ein mehr der Vollständigkeit halber aufgeführtes Szenario bezieht sich auf das Astroblem (= morphologisches Abbild eines Meteoriten-Einschlagkraters), das RIGASSI (1986) im zentralen Mittelland nachweisen möchte. Er propagiert im Raum zwischen Luzern und Olten ein Astroblem von ähnlichem Alter wie der Impaktkrater des Nördlinger Rieses. Zahlreiche morphologische Strukturelemente sowie die eigenartigen, oftmals gebogenen Flussläufe der Region führen zu

dieser Annahme. Der äusserste Ring solcher Landschaftselemente verläuft nur ca. 1 km westlich des Bodenbergs vom Lutherntal her kommend in Richtung Roggliswil–Pfaffnau (siehe auch Abb. 1). Ein schön ausgebildeter Bruch an der Lokalität «Chalofen» bei Hüswil (220 400/635 650) liegt genau im Bereich dieses äussersten Rings. Er könnte eventuell zusammen mit der Bruchzone am Bodenberg zu den Auswirkungen des Meteoriteneinschlags gezählt werden, da die Sedimente der Oberen Meeresmolasse zur Zeit des hypothetischen Einschlags vor rund 14 Mio. Jahren (RIGASSI, 1986) schon abgelagert waren (KELLER, 1989). Die Orientierungen der Brüche laufen in etwa parallel zum Rand des fraglichen Astroblems. Die beobachtete Mehrphasigkeit der Versetzungen widerspricht der Astroblemtheorie zwar auf den ersten Blick, eine erste Anlage der später wieder aktivierten Bruchzonen durch einen Meteoriteneinschlag könnte aber möglich sein.

- Als wahrscheinlichere Erklärung für die Entstehung der Bruchzone am Bodenberg ist eine S > N verlaufende Aufschiebungsstruktur im liegenden Mesozoikum anzunehmen, die sich bis an die heutige Oberfläche durchpaust und so lokal ein Gewölbe in der darüber liegenden Molasse bedingt. Ähnliche Strukturen beschreibt JORDI (1990) im westlichen Teil des Molassebeckens am Südende des Neuenburgersees. Im Dach und am Westrand dieses Gewölbes bildeten sich durch die Verbiegung des spröden Nagelfluhkörpers oberflächennah die beobachteten, auffingernden Zerrungsstrukturen aus. Die am Bodenberg besonders mächtige (≥ 25 m) Basisnagelfluh der St. Galler Formation (OMM) hat dabei wohl als besonders spröder Block gewirkt. Andernorts, wo die Basisnagelfluh «normale» Mächtigkeiten von nur 5 bis 10 m aufweist und von Mergeln und Sandsteinen unter- bzw. überlagert wird, wurden die Zerrungsbewegungen wohl in den feinkörnigeren, plastischeren Sedimenten aufgefangen. Eine Datierung der Bewegungen ist bisher nicht möglich. Die Entdeckung der Grabenstruktur am Bodenberg bringt hier möglicherweise neue Erkenntnisse. Untersuchungen an der Grabenfüllung sind im Moment im Gang (MÜLLER & SCHOTT, in Vorb.).

Um eventuelle Einflüsse der am Bodenberg gefundenen Brüche auf die Talgeschichte sichtbar zu machen, wurden in einem Rechteck – begrenzt durch die Koordinaten 635.5/221 und 638/223 – die wichtigsten morphologischen Lineamente (Talläufe) eingemessen, um sie mit dem Streichen der Brüche am Bodenberg vergleichen zu können. Dazu wurde aus den Polen der gemittelten («best-fits») Bruchflächenorientierungen zwei mittlere Streichrichtungen errechnet. Diese wurden mit Sektoren von Azimuth ca. 40 bis 100 ° bzw. 220 bis 280 ° ergänzt, die den ganzen Streubereich der eingemessenen Brüche umfassen. Von 20 eingemessenen Lineamenten verlaufen nur gerade deren drei parallel zu den mittleren Streichrichtungen der Bruchzone und total sieben im Sektor, der durch die gestreuten Streichrichtungen aufgespannt wird.

Rein statistisch ist ein Zusammenhang der Bruchzone am Bodenberg mit der Talgeschichte in der näheren Umgebung abzulehnen. Interessanterweise sind aber zwei der drei parallel zum Streichen der Bruchzonen laufenden Lineamente Talabschnitte des Fischbachtals, das die lokale Erosionsbasis darstellt. Die weiteren Lineamente, die im geforderten Streichen verlaufen, befinden sich ebenfalls in unmittelbarer Nähe der Bruchzone. Ob allerdings die Talung einer älteren Bruchzone folgt, oder ob die erosive Eintiefung das hangparallele Absacken verursacht hat, kann mit dieser Methode nicht entschieden werden. Am wahrscheinlichsten erscheint uns ein kombinierter Mechanismus, der von einem älteren Bruchsystem ausgeht, das deutliche Einflüsse auf die Talgeschichte der Region Zell gehabt hat. Dieses Bruchsystem könnte dann später durch die Talbildung und die dadurch

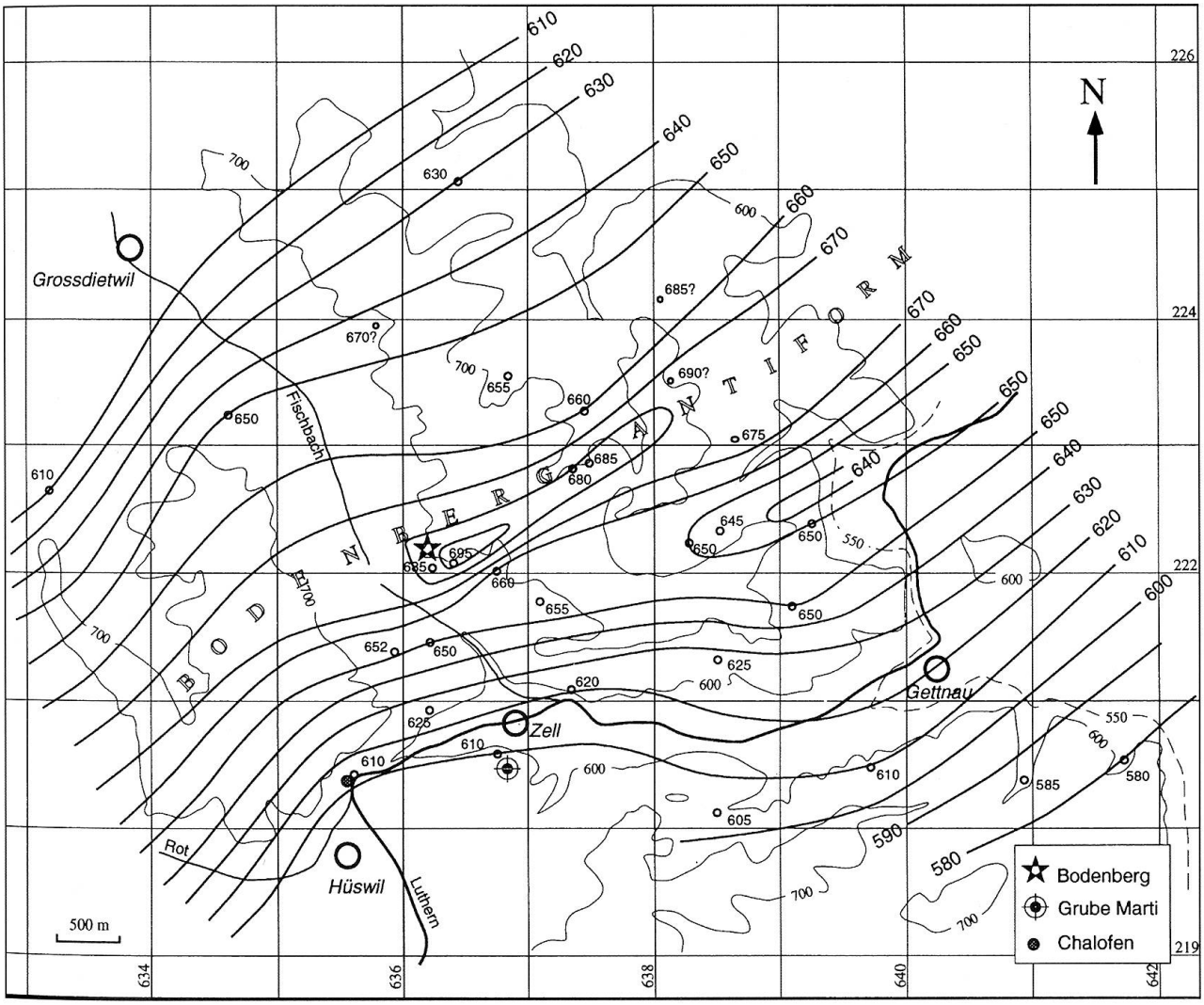

Abb. 8: Isohypsen-Darstellung der Basisfläche der Basisnagelfluh der St. Galler Formation (OMM) zwischen Hüswil und Gettnau.

geschaffenen gravitativen Ungleichgewichte wieder aktiviert worden sein.

Ein weiterer interessanter Punkt in bezug auf die Talgeschichte der Region wird bei kritischer Betrachtung der konstruierten Basisfläche der Basisnagelfluh der St. Galler Formation (OMM) offensichtlich (Abb. 8). Die bereits erwähnte Eindellung im Südschenkel der dargestellten Bodenberg-Antiform liegt genau vor dem Eingang zum Lutherntal. Die westliche Begrenzung dieser Einsenkung (?) könnte mit dem schon früher (MÜLLER, 1988) beschriebenen Bruch (85/70) von «Chalofen» (LK: 635 63/220 45) in Verbindung gebracht werden (LANG, 1991). Für die östliche Begrenzung der hypothetischen Einsenkung des Lutherntales waren bisher keine Indizien vorhanden. Neue Aufschlüsse im Raum Zell (MÜLLER & SCHOTT, in Vorb.) lassen sich eventuell damit in Verbindung bringen. Eine andere, sehr prominente Synform in der Umgebung Rohrbach/Gondiswil beschreibt GERBER (1984) in den Erläuterungen zum geologischen Atlasblatt Langenthal. Dort soll die Untergrenze des Basiskonglomerates der St. Galler Formation recht steil keulenförmig um etwa 50 bis 80 m tiefer liegen als in der Umgebung. Die Form und die Orientierung dieser tiefliegenden Zone in der

Basisnagelfluh könnte eventuell auch als Erosionsstruktur gedeutet werden, wenn deren Nordostende nicht so steil ansteigen würde. Für GERBER steht deshalb wohl eher eine tektonische als eine erosive Bildung im Vordergrund. Da die Isohypsenkonstruktion in diesem Bereich aber offensichtlich nur an einem Punkt hängt, kann die Interpolation auch anders vorgenommen werden (Abb. 8), was zu bedeutend einfacheren Strukturen führt als sie von GERBER dargestellt worden sind.

LITERATURVERZEICHNIS

BURKARD, M. (1990): *Aspects of large scale Miocene deformation in the most externel part of the Swiss Alps (Subalpine Molasse to Jura fold belt).* Eclogae Geol. Helv. 83/3: 559–584.

GERBER M. E. et al. (1984): *Erläuterungen zum Blatt 1128 Langenthal des Geol. Atlas der Schweiz 1:25 000.*

JORDI, H. A. (1990): *Tektonisch-strukturelle Übersicht Westschweizerisches Molassebecken.* Bull. Ver. Schweiz. Petroleumgeologen und -ingenieure, Vol. 56, Nr. 130: 1–11.

LANG, R. (1991): *Die Geologie zwischen Briseck und Ettiswil (LU).* Unveröff. Diplomarbeit Univ. Zürich.

KELLER, B. (1989): *Fazies und Stratigraphie der Oberen Meeresmolasse zwischen Napf und Bodensee.* Dissertation Universität Bern.

MILLOT, G. (1970): *Geology of Clays.* Springer Verlag.

MÜLLER, B. U. (1988): *Zur Geologie des unteren Lutherntales (LU).* Unveröff. Diplomarbeit Univ. Zürich.

MÜLLER-VON MOOS, M. & SCHINDLER, C. M. (1974): *Palygorskit im helvetischen Kieselkalk des Bürgenstocks,* SMPM.

PETERS, T. J. et al. (1965): *Palygorskit als Kluftbelag in der tortonen Molasse des Entlebuchs.* SMPM, Band 45, Heft 1: 123–131.

RIGASSI, D. A. (1986): *Ein Meteoritenkrater im schweizerischen Mittelland?* Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat., 78.1, 1986.

VON SALIS, K. (1965): *Geologische und sedimentologische Untersuchungen in Molasse und Quartär südlich Wolhusen.* Dissertation Univ. Bern, 1967.

Benjamin U. Müller
Geologisches Institut
der Universität Bern
Quartärgeologie
Baltzerstrasse 1
3012 Bern