Zeitschrift: Bulletin für angewandte Geologie

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung der Petroleum-Geologen und –Ingenieure; Schweizerische Fachgruppe für Ingenieur-Geologie

Band: 4 (1999)

Heft: 1

Artikel: Synsedimentäre Sedimentdeformationen in der Molasse der Lägern-Struktur (Kanton Aargau)

Autor: Graf, Hansruedi / Bitterli, Thomas

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-221503

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

Bull. angew. Geol.	Vol. 4	Nr. 1	35 -50	Juli 1999

Synsedimentäre Sedimentdeformationen in der Molasse der Lägern-Struktur (Kanton Aargau)

mit 7 Figuren

HANSRUEDI GRAF* UND THOMAS BITTERLI* †

Zusammenfassung

Die Neukartierung von Blatt Baden für den Geologischen Atlas der Schweiz 1:25'000 lieferte neue, präzisere Daten zur Verbreitung und Ausbildung verschiedener lithostratigraphischer Einheiten der Oberen Meeres- und Süsswassermolasse sowie zur tektonischen Strukturierung des Untergrundes. Es werden zwei Lokalitäten mit synsedimentär deformierten klastischen Sedimenten vorgestellt. Im Aufschluss "Anzflue" handelt sich dabei um Muschelsandsteine der Oberen Meeresmolasse und im Aufschluss "Sand" um Glimmersande der Oberen Süsswassermolasse. Die mögliche Deutung der deformierten Gesteine als Seismite wird diskutiert.

Abstract

The mapping of sheet Baden of the Geological Atlas of Switzerland 1:25'000 furnished new and more precise data on the structure of the subsurface, as well as on facies and distribution of various lithostratigraphic units of the Upper Marine Molasse (OMM) and the Upper Freshwater Molasse (OSM). These data point to a paleorelief in the Molasse Basin, which may have had a tectonic origin. Two outcrops of syndepositionally deformed clastic sediments are described: The "Anzflue" site with OMM "Muschelsandstein" and the "Sand" site with OSM "Glimmersand". An interpretation of the deformation structures is proposed.

1. Einleitung

Im Rahmen der Feldarbeiten für die geologische Aufnahme von Blatt 1070 Baden des Geologischen Atlas' der Schweiz 1:25'000 gelang eine Erweiterung und Präzisierung der bisherigen Kenntnisse über die Verbreitung der Molasseablagerungen im Umfeld der Lägern-Struktur und des Nordrandes des Molassebeckens. Ausserdem wurden wesentliche neue Erkenntnisse zum tektonischen Aufbau der Lägern-Struktur gewonnen.

Vor diesem Hintergrund kommt zwei Aufschlüssen an der Nordseite der Lägern-Struktur eine besondere Bedeutung zu. Sie schliessen Sedimente auf, welche synsedimentäre Deformationen aufweisen, wie sie nach unserem Wissen aus der Molasse der Nordschweiz bisher noch nicht bekannt waren.

* Matousek, Baumann & Niggli AG, Mäderstrasse 8, 5401 Baden

2. Geographische Lage der Aufschlüsse, tektonisches Umfeld

Der Aufschluss "Anzflue" befindet sich südlich von Turgi im unteren Limmattal und der Aufschluss "Sand" südlich von Gebenstorf (Fig. 1). Beide Lokalitäten liegen im nördlichen Bereich der Lägern-Struktur, welche den östlichsten Ausläufer des Faltenjuras darstellt. Sie markiert gleichzeitig den frontalen Teil des Faltenjuras und beinhaltet die Jura-Hauptüberschiebung. Die Aufschlüsse liegen tektonisch unterhalb der Hauptüberschiebung, so gesehen also im Tafeljura.

Die Lägern-Struktur stellt im wesentlichen eine auf den Tafeljura überschobene Falte mit kompliziertem internen Aufbau dar. Sie wird durch etwa SSW-NNE verlaufende Transversalverschiebungen in Segmente unterteilt, welche jeweils einen spezifischen internen Bau aufweisen. Der Transfer der totalen Krustenverkürzung zwischen verschiedenen Strukturen wird entlang der Transversalverschiebungen bewerkstelligt. Mindestens zum Teil haben diese einen transpressiven Charakter, was sich in flower-structure-artigen Aufwölbungen der Schichten entlang der Verschiebung äussert (mbn AG 1996). Eine dieser Transversalverschiebungen, die sinistrale "Chörnlisberg-Störung", verläuft unmittelbar östlich vom Aufschluss Anzflue (Fig. 1).
Der östliche Aargauer Tafeljura ist durch eine Reihe von verschiedenartigen Schichtstörungen gegliedert (Fig. 1). Für die Verbreitung der Molasseablagerungen sind mehrere, etwa E-W bzw. SW-NE verlaufende, südvergente Flexuren von Bedeutung. Namentlich sind dies die Ifluh-Flexur, die Endinger und Unterendinger Flexur sowie die Rekinger Flexur (nach Bitterli & Matousek 1991). Im Bereich dieser Flexuren keilt die Untere Süsswassermolasse aus, und die Ablagerungen der Oberen Meeresmolasse gehen nur als geringmächtige Schicht nordwärts darüber hinaus. Diese Strukturen sind unter einander durch Transversalverschiebungen verbunden und übernehmen zusammen den Extensionsbetrag der W der Ruckfeldstörung verlaufenden Mandacher Flexur (Bitterli & Matuosek 1991).

3. Stratigraphische und paläogeographische Übersicht

Generell beruht die Gliederung der Molasse-Ablagerungen im Gebiet von Atlasblatt Baden auf lithostratigraphischen Grenzziehungen; eine biostratigraphische Datierung besteht zur Zeit noch nicht. Es stellt sich daher zum Beispiel die Frage, ob die zur OSM gestellten Glimmersande wirklich vollständig festländische Bildungen darstellen. Im Bereich des Beckennordrandes auf dem Kleinen Randen nördlich des Rheins führen die petrographisch praktisch identisch entwickelten "Melaniensande" marine oder brackische Faunen (Württemberger 1870, Braun 1953; Graf 1991). Eine Säugetier-Fauna aus dem Gebiet Tössegg-Irchel (Fundstelle Erlistrasse) scheint aus dem Grenzbereich OMM/OSM (MN 4-5) zu stammen (Bolliger 1998).

3.1 Obere Meeresmolasse OMM

Das Gebiet von Blatt Baden liegt im Übergang des offenmarinen Bereiches (nach Homewood 1981) zum Beckennordrand. Dort kamen zum Teil Steilküsten vor ("Klifflinie") und es kann lokal ein Material-Eintrag vom Schwarzwald her festge-

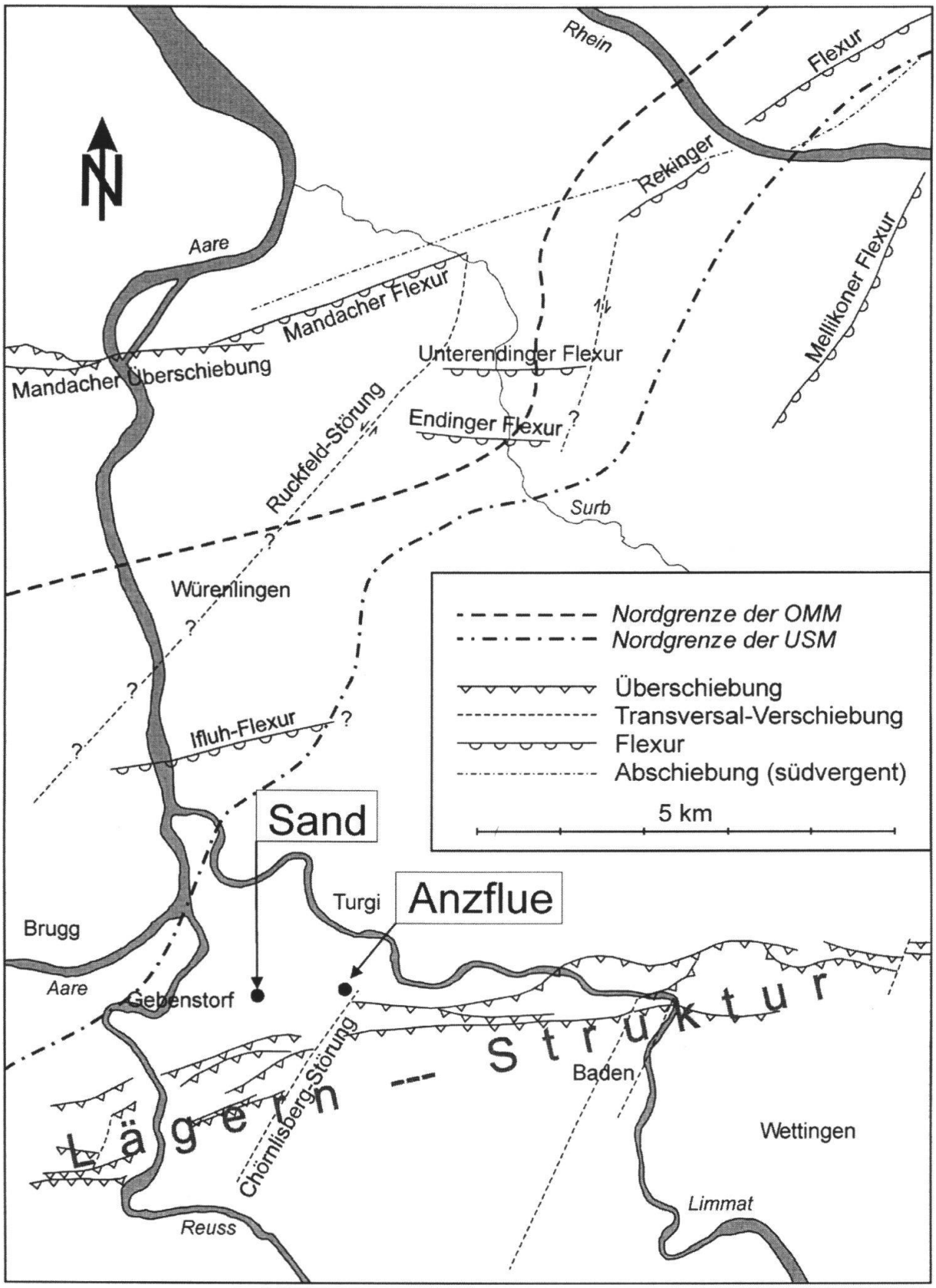

Fig. 1: Tektonische Übersicht des nordöstlichen Aargau, geographische Lage der Aufschlüsse Anzflue und Sand.

stellt werden (Graf 1991, Bausch & Schober 1997). In diesem Bereich sind nur die jüngsten Anteile der OMM-Ablagerungen vertreten.
Die OMM wird traditionsgemäss in einen älteren ("Burdigalien") und einen jüngeren Anteil ("Helvétien") gegliedert. Der ältere Anteil ist wohl mit der Luzerner Formation (Keller 1989) zu verbinden und kann mit dem Eggenburgian der zentralen Paratethys korreliert werden (20.5-18 Ma BP), während der jüngere Teil mit der St. Galler Formation (Keller 1989) zu verbinden ist und in den Zeitbereich Ottnangian/Karpatian (18-16.5 Ma BP) gehören dürfte (nach Berger 1992, Steininger 1999).
Für die geologische Kartierung der OMM im Untersuchungsgebiet sind vor allem die Muschelsandsteine und Quarzitnagelfluhen von Bedeutung. Dabei werden die Muschelsandsteine zum älteren Teil der OMM gestellt (Grenzbereich Säugerzonen MN3/4, Kälin 1997) und die Quarzitnagelfluhen in den jüngeren (MN4, Kälin 1997). Dies geschieht im Bewusstsein, dass es sich bei diesen Gesteinen um Fazieseinheiten handelt, welche einen heterochronen Charakter haben und deshalb keine eigentlichen Leithorizonte darstellen. Im Gebiet von Blatt Baden ist für den Zeitbereich der Muschelsandsteine eine Interferenz von Material-Schüttungen aus SW (Napf-Schuttfächer) und NE ("Graupensandfluss") festzustellen (Büchi & Hofmann 1960). Südlich der Lägernstruktur herrschte die ostwärtige Schüttung von Napf-Hörnli-Material vor, während nördlich davon die Nordost-Schüttung einen starken Einfluss hatte (Allen et al. 1985, Hofmann 1989). Ein Vorkommen von OMM am Chestenberg weist auffällige petrographische Ähnlichkeit mit dieser Fazies der Muschelsandsteine auf, so dass dort die Fortsetzung der damaligen nördlichen Meeresarmes vermutet werden kann (Hofmann & Gygi 1961).
Die Neukartierung von Blatt Baden ergab, dass allgemein von einer wesentlich geringeren Gesamtmächtigkeit der OMM ausgegangen werden muss, als in älteren Kartenwerken angegeben wurde (z.B. Mühlberg 1901, Hantke et al. 1967, Isler et al. 1984). Im Gebiet südlich der Lägernstruktur keilen die älteren Anteile der OMM nordwärts aus (u.a. Muschelsandsteine). Im Übergang zur Lägernstruktur (W von Wettingen) tritt nur noch eine ca. 20 m mächtige Quarzitnagelfluh auf. Nördlich der Lägernstruktur kommen Muschelsandsteine bei Turgi vor, welche von Quarzitnagelfluh überlagert werden. Die Mächtigkeit der OMM in diesem Gebiet dürfte insgesamt 20-40 m betragen. Im Gebiet des Surbtales zwischen Lengnau und Endingen, beträgt die Mächtigkeit der OMM kaum mehr als 20 m. Sie umfasst im wesentlichen eine Quarzitnagelfluh und keilt gegen NW, hin zur Endinger Flexur, aus (Bitterli-Dreher 1998). Daraus ergibt sich das Bild einer Hochzone im Bereich der heutigen Lägernstruktur, welche zwei Verbreitungsgebiete von Muschelsandstein (evtl. von OMM generell) von einander trennt.

3.2 Obere Süsswassermolasse

Die Ablagerungen der OSM können generell zu drei paläogeographischen Bereichen gestellt werden: die alpinen Schuttfächer, die beckenaxiale Glimmersandrinne und die Schuttfächer des Beckennordrandes mit Sedimentzufuhr von Schwarzwald und Vogesen (Kälin 1993). Das Untersuchungsgebiet befindet sich überwiegend im Bereich der Glimmersandrinne. Der Einfluss des Hörnli-Schuttfächers mag sich mit grauen Mergeln bemerkbar machen, welche aber auch als Überschwemmungssedimente oder Stillwasserablagerungen der Glimmersandschüttung gedeutet werden könnten. Das nächstgelegene Vorkommen von Aargauer Juranagelfluh befindet sich am Bruggerberg (mbn AG 1998). Wenige Vorkommen

von Süsswasserkalken sind bekannt (z.B. Greppe, E Wettingen). Eine genaue Charakterisierung der OSM im Gebiet um die Lägern ist aber sehr schwierig, weil sie meistens erodiert und allgemein nur schlecht aufgeschlossen ist. Die jüngsten bisher datierten Glimmersande der Nordschweiz befinden sich in der Grube von Helsighausen (Kt. Thurgau). Sie werden in MN7 gestellt (Bolliger 1994). Generell umfassen die Glimmersande also den Zeitbereich von ca. 16.5 bis 13 Ma BP (nach Kempf et al. 1997, Steininger 1999).

4. Der Aufschluss Anzuflue bei Turgi

Der Aufschluss Anzflue (mittlere Landeskoordinaten 662.100 / 259.450) befindet sich im nördlichen Randbereich der E-W streichenden Lägernstruktur (Fig. 1). Die Felswand der Anzflue streicht fast genau N-S, also quer zur Lägernstruktur und leicht schief zur Chörnlisberg-Störung. Sie erstreckt sich auf einer Länge von rund 200 m und senkt sich nordwärts von etwa 520 m ü.M. bis auf etwa 460 m ü.M. Die Höhe des Aufschlusses beträgt rund 10 m (Fig. 2).
Im Abschnitt 4.1 wird zunächst die generelle Gliederung der Sedimentabfolge beschrieben (Fig. 2) und eine grobe Rekonstruktion der primären Sedimentationsverhältnisse der Einheiten präsentiert. Im Abschnitt 4.2 werden dann die wichtigsten der festgestellten Sedimentdeformationen separat dargestellt und eine Interpretation vorgeschlagen.

4.1 Generelle Gliederung des Aufschlusses

Einheit 1: Wechsellagerung von fein- bis mittelkörnigen Sandsteinen sowie Siltsteinen. Sandsteinlagen mit Flaserschichtung oder flaserführender Rippelschichtung. Zum Teil auch flache Schrägschichtung oder Hering-bone-Kreuzschichtung. Einzelne Lagen völlig massig ausgebildet, lokal mit zahlreichen mergeligen Intraklasten. Gelegentlich vertikale Bohrgänge. Feinkörnigere Lagen mit welligen Wechselschichten (vgl. Reineck & Singh 1975). Im südlichen Teil des Aufschlusses sind die Sedimente rötlich-orange verfärbt und enthalten weisse Kalkkonkretionen.
Interpretation: entspricht wahrscheinlich dem Architekturelement tMIS (nach Keller 1989). Entstanden im Bereich eines Prielgleithanges in gezeitendominiertem Milieu. Kalkkonkretionen (Caliche) und Rötung der Sedimente (auf Fe-Hydroxide zurückgehend) als Resultat pedogener Prozesse.

Mit einer deutlichen erosiven Diskordanz folgt darüber:

Einheit 2: Muschelsandsteine mit grossformatiger Schrägschichtung (Fig. 2 und 3). Die einzelnen Bänke sind 25-30 cm dick, bestehend aus 10-14 Schichten. Die einzelnen Bänke werden von 1–8 cm mächtigen, feinkörnigeren Sedimenten mit Kleinrippeln voneinander getrennt. Im Bereich der Toesets aus Einheit 1 aufgearbeitete, zum Teil fetzenartige Gesteinsbruckstücke (bis 15 cm Länge) und Kalkkonkretionen.
Interpretation: entspricht dem Architekturelement der Riesen-Schrägschichtungen (tSTS-RS) von Keller (1989). Von Allen et al. (1985) als Ablagerungen von stark asymmetrischen Gezeitenströmungen im offenmarinen Bereich gedeutet, welche einem 14-tägigen Gezeitenzyklus folgten.

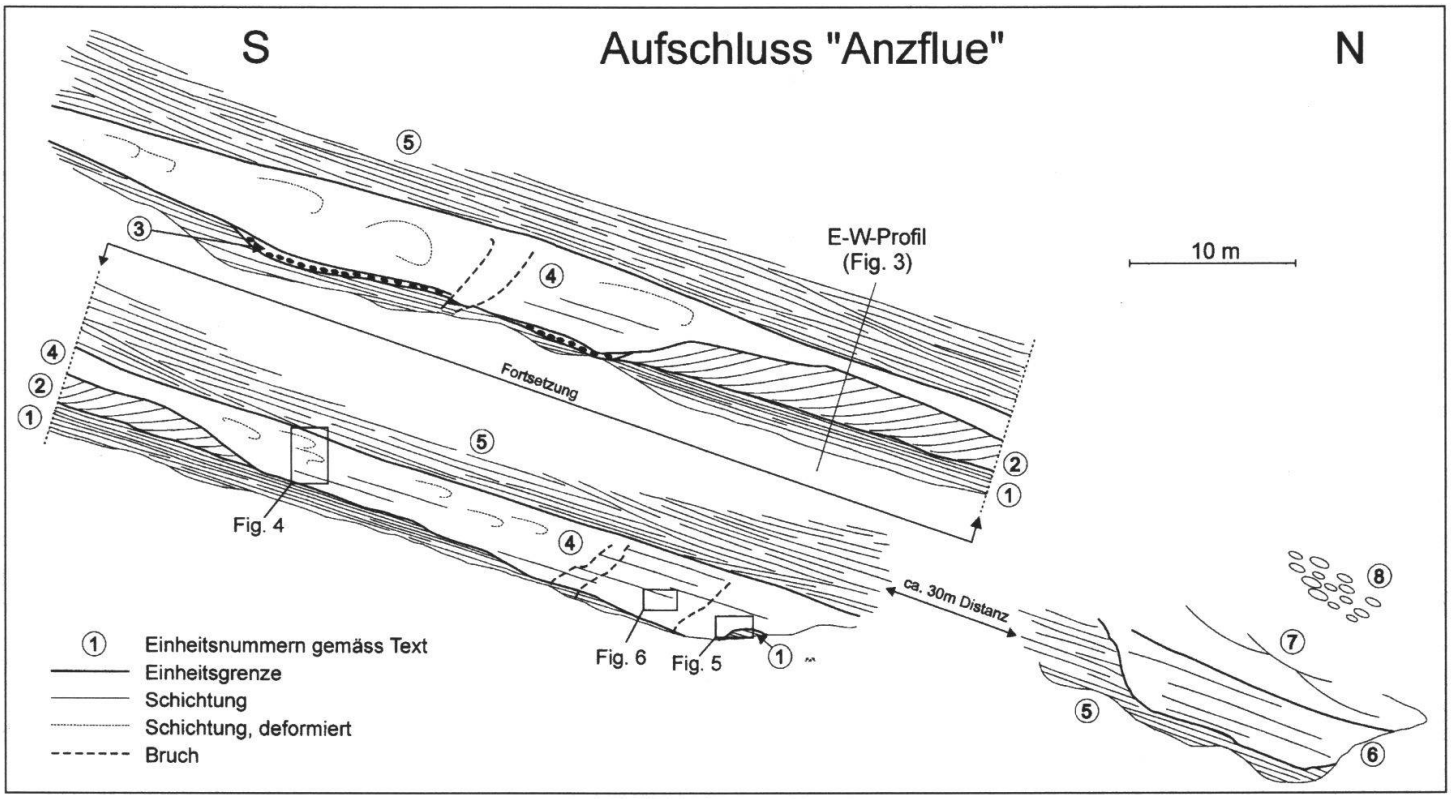

Fig. 2: Skizze des Aufschlusses Anzflue (Obere Meeresmolasse) südlich von Turgi. Lage des Querprofils von Fig. 3, Stellen der Photos von Abbildungen 4, 5 und 6.

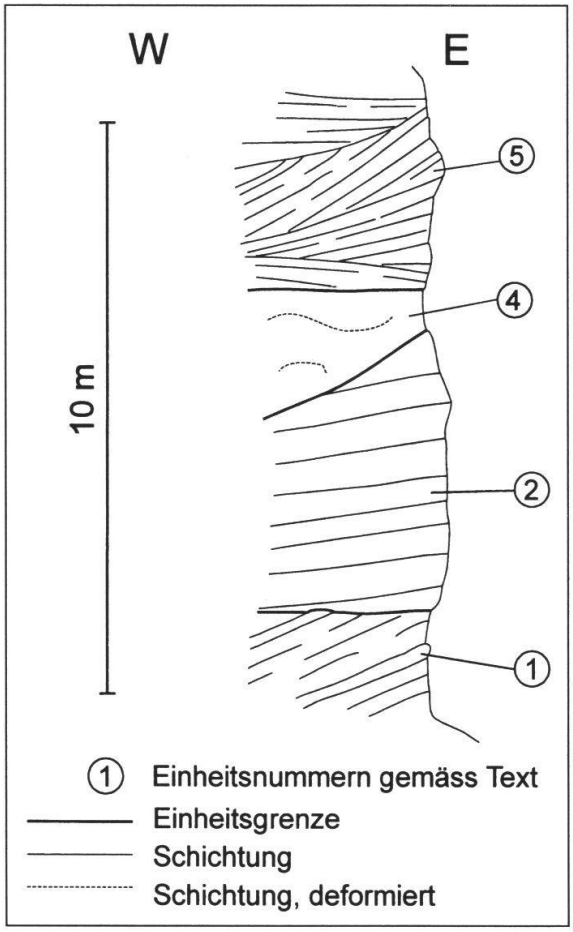

Fig. 3:
Querprofil durch die Gesteine der Oberen Meeresmolasse im Aufschluss Anzflue S von Turgi.

Eine Erosionsphase bewirkte das Einschneiden einer N-S orientierten Rinne in die Einheiten 1 und 2. Ihr östlicher Rand ist westlich von Einheit 2 lokalisiert, wo diese erosiv gekappt ist (Fig. 3). Darin:

Einheit 3: Maximal 70 cm mächtiges, matrixgestütztes Konglomerat mit normaler Gradierung. Matrix aus mittelkörnigem Sandstein mit deutlichem Anteil an Grobsand der Graupensandschüttung. Als Komponenten zahlreiche aus Einheit 1 stammende Gesteinsbruchstücke, 3-4 cm grosse Quarzitgerölle, isolierte Austernschalen, Gerölle von Jurakalken und lokal zahlreiche Kalkkonkretionen (aus Einheit 1 aufgearbeitet).
Interpretation: entspricht dem Architekturelement SSTR von Keller (1989). Nach Cook et al. (1982) Ablagerungen von Schlamm- oder Schuttströmen, welche infolge von seismischen Schocks bereits an sehr gering geneigten Hängen entstehen können.

Einheit 4: Schwach verkittete, mittelkörnige, zum Teil knauerig oder lagig verkittete Sandsteine. Meist grossformatige, planare Kreuzschichtungen mit zum Teil verbogenen Schichten. Stärker verkittete Lagen mit einer laterale Ausdehung von mehreren Metern. Darin keine Sedimentstrukturen erkennbar. Im südlichen Teil des Aufschlusses und an der Basis im nördlichen Teil Bereiche mit homogenisiertem Gefüge, welche stellenweise Fetzen der liegenden Einheiten enthalten.
Interpretation: Entspricht wahrscheinlich dem Architekturelement tSTS-FSW (nach Keller 1989), zu deuten als komplexe, flutorientierte Sandwellen.

Einheit 5: Ca. 6 m mächtige Muschelsandsteine mit flacher, planarer Kreuzschichtung. Reich an Muschelbruchstücken und grobem Quarzsand der Graupensandschüttung. Einzelne Bänke 5-10 cm, getrennt durch geringmächtige Lagen mit welliger Wechselschichtung.
Interpretation: Von Allen et al. (1985) als Sandwellen gedeutet, welche auf asymmetrische Gezeitenströmungen zurückgehen, mit weniger stark ausgeprägter Asymmetrie als bei Einheit 2. Entsprechen dem Architekturelement tSTS-RR von Keller (1989).

Eine erneute Erosionsphase bewirkte die Entstehung einer in Einheit 5 eingeschnittenen Rinne. Der südliche Rinnenrand ist sehr steil, fast senkrecht, der nördliche ist nicht aufgeschlossen. Die Orientierung der Rinne kann am Südrand als etwa NW-SE erahnt werden. Darin:

Einheit 6: Konglomerat mit matrixgestütztem Gefüge. Komponenten: Gesteinsbruchstücke (aus Einheit 1 stammend), Quarzitgerölle und Muschelschalen. Matrix aus mittel- bis grobkörnigen Sand mit Quarzsand der Graupensandschüttung. Im Sediment einzelne Sandsteinblöcke (bis 50 cm Durchmesser), aus Einheit 5 stammend. Flache Kieskomponenten (Muschelschalen und Gesteinsbruchstücke) deutlich subparallel eingeregelt. 50-60 cm dicke Bänke, unten mit groben Komponenten, normale Gradierung.
Interpretation: Entspricht dem Architekturelement SSTR von Keller (1989) und würde somit aus zyklisch aufgetretenen Schuttstrom-Ablagerungen bestehen.

Einheit 7: Generell lockere, lagig verkittete, mittelkörnige Sandsteine mit kleinen Quarzitgeröllen und Muscheltrümmern. Der direkte Kontakt zum Liegenden ist nicht aufgeschlossen. Verkittete Lagen 10-15 cm dick. Grossformatige, trogförmige Kreuzschichtung erkennbar.

Interpretation: Wahrscheinlich Sedimente von Grossrippeln in einer gezeitendominierten Rinne (Architekturelement wtSTS nach Keller 1989).

Einheit 8: Kaum verkittete Quarzitnagelfluh mit Geröllen bis ca. 20 cm Durchmesser. Mächtigkeit gemäss Büchi & Hofmann (1960) ca. 6 m. Die heutigen Aufschlussverhältnisse lassen keine genauere Beurteilung von Lagerungsverhältnissen, Mächtigkeit und Genese zu.

4.2 Synsedimentäre Deformationen und ihre genetische Deutung

4.2.1 Beobachtungen

In den Gesteinen von Einheit 4 sind Deformationen am auffälligsten. Sehr verbreitet treten verbogene Schichten auf (oben in Fig. 4). Zum Teil kommen überkippte Foresets vor. Immer wieder fallen Bereiche auf, wo die Sandsteine vollständig homogen, ohne jede Schichtung vorliegen. Im Sediment kommen lokal fetzenartige Bruchstücke älterer Einheiten vor. Stellenweise ist ein fliessender Übergang von deutlich geschichteten Ablagerungen in die homogenisierte Fazies zu sehen (Fig. 5). Lokal sind Entwässerungsstrukturen vorhanden (Fig. 6).

Aufgelöste, homogenisierte Schichtung, zum Teil mit Intraklasten, kommt auch in den Einheiten 1 und 2 vor, speziell dort, wo sie an Einheit 4 grenzen. Damit verbunden ist gelegentlich auch eine Brekziierung der welligen Wechselschichtung von Einheit 1.
Im südlichen Teil des Aufschlusses treten grössere Bruchstrukturen auf, welche Gesteinspakete der Einheiten 1 bis 4 zum Teil deutlich gegen einander versetzen. Der Verschiebungsbetrag nimmt gegen oben ab und verschwindet noch innerhalb von Einheit 4. Die Bruchstrukturen streichen mit ca. 330 Grad, aber es treten auch in etwa senkrecht dazu verlaufende kleinere Brüche auf.

4.2.2 Genetische Deutung als Seismite

Die Sedimente von Einheit 4 wiesen primär grossformatige Kreuzschichtungen auf, welche deformiert wurden. Auch die angrenzenden Bereiche älterer Einheiten wurden lokal überprägt (Fig. 5). Die Deformationen gehen also nicht auf einen primären Ablagerungsmechanismus zurück, sondern fanden eindeutig nach der Sedimentation statt.
Die auffälligen Schichverbiegungen implizieren eine gewisse laterale Bewegung des Materials. Solche Strukturen wurden aus übersteilten Foresets von Deltasequenzen (Collinson & Thompson 1989), aus fluviatilem Milieu (Coleman 1969) und aus Seismiten beschrieben (Bhattacharya & Bandyopadhyay 1998). Auch in Liquefaktions-Experimenten können entsprechende Strukturen erzeugt werden (Owen 1996). Die sedimentologische Interpretation lässt eine Entstehung von Einheit 4 in einem Delta oder in fluviatilem Milieu ausser Betracht fallen.
Vor allem im basalen Teil von Einheit 4 kommen ausgedehnte Bereiche vor, wo die Sande keinerlei Schichtung aufweisen (Fig. 5). Sie weisen keine klare Begrenzung auf, sondern verlaufen wolkig. Stellenweise kann beobachtet werden, wie in den Wechsellagerungen von Einheit 1 die Sandsteine entschichtet sind, während die feinkörnige wellige Wechsellagerung noch intakt ist. Entschichtungen können beispielsweise auf Bioturbation zurückgehen, sie sind aber auch ein typisches Merk-

Fig. 4:
Die Gesteine der Einheit 4 vom Aufschluss Anzflue. Unten ist die Schichtung noch praktisch ungestört, oben liegen verbogene Foresets der Kreuzschichtung vor.

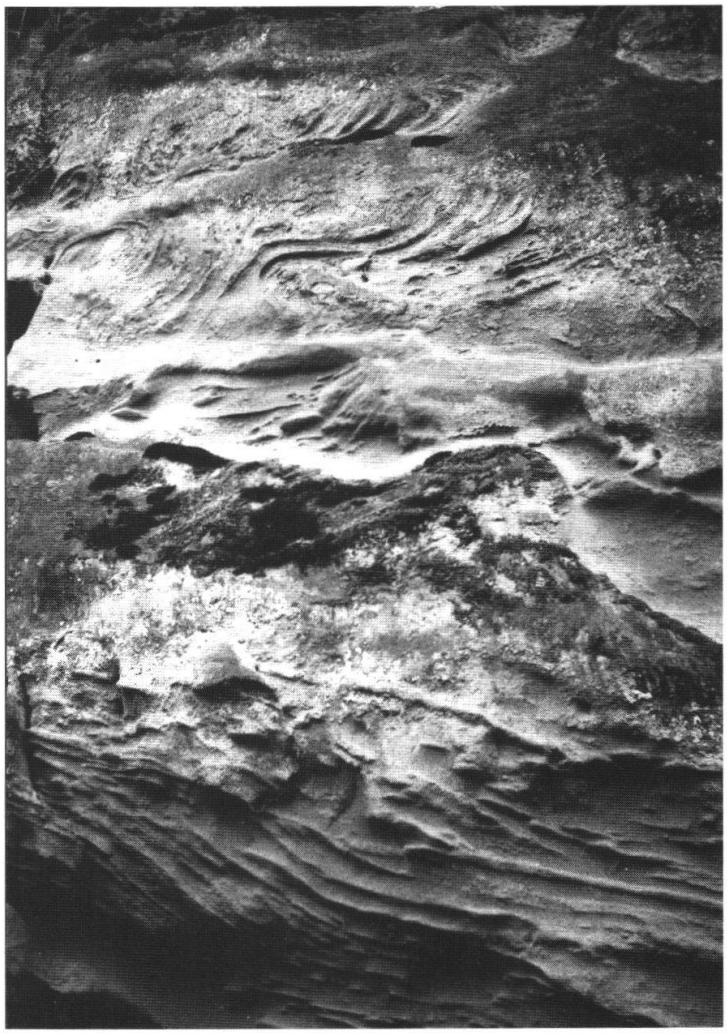

Fig. 5:
Der basale Bereich von Einheit 4 vom Aufschluss Anzflue. Homogenisiertes Gefüge der Sande auch im angrenzenden Bereich von Einheit 1. Dort sind die welligen Wechselschichten noch zum Teil erhalten, während die Sandsteine entschichtet sind.

▼

Fig. 6: Entwässerungsstruktur (sedimentärer Gang) in der Einheit 4 vom Aufschluss Anzflue

mal von wassergesättigten unverfestigten Sanden, welche seismisch "geschüttelt" wurden. Bioturbationen finden in der Regel bezüglich einer bestimmten einstigen Sedimentoberfläche statt und sind deshalb gewissermassen "horizontiert". Die beobachteten Entschichtungen sind nicht an spezielle Schichten gebunden, und es können auch keinerlei Spuren von Bioturbation festgestellt werden, weshalb diese Entstehungsweise wenig wahrscheinlich ist.

Lokal können sedimentäre Gänge festgestellt werden (Fig. 6), welche als Entwässerungsstrukturen zu deuten sind. Entwässerungsstrukturen treten bei sehr schnell abgelagerten Sedimenten häufig auf und kommen in vielen Ablagerungsräumen vor. Sie entstehen auch in wassergesättigten Sanden, als Reaktion auf seismische Schocks und sind ein häufig bei Erdbeben beobachtetes Phänomen (z.B. Atwater et al. 1995).

Die erwähnte Brekziierung von Siltsteinlagen in Einheit 1 kann ebenfalls in Zusammenhang mit Entwässerungen stehen, welche auf seismische Aktivität zurückgehen (z.B. Seth et al. 1990).

Die beschriebenen grossen Bruchstrukturen können anhand der heutigen Aufschlussverhältnisse nicht abschliessend gedeutet werden. Sie scheinen vor der Ablagerung von Einheit 5 entstanden zu sein, und ein Zusammenhang mit den Deformationen von Einheit 4 ist nicht auszuschliessen, weil sie innerhalb davon allmählich ausklingen. Oft hat sich zwar die junge Talklüftung an diesen alten Anlagen orientiert, aber die Bruchstrukturen als solche sind nicht als Talklüftung zu deuten. Eine tektonische Entstehung kann nicht ausgeschlossen werden, so dass diese Frage vorläufig offen bleiben muss.

Insgesamt liegen zahlreiche Hinweise auf eine seismische Ursache für die verschie-

denen Sedimentdeformationen vor, weshalb eine Deutung der Sedimente als Seismite gerechtfertigt erscheint.

4.2.3 Alternative Deutung als Rutschung oder Sackung?

Anhand des Streichens der Diskordanz an der Basis von Einheit 5, welche etwa parallel zum Streichen der Schichten von Einheit 1 verläuft, kann vermutet werden, dass beide zu ihrer Entstehungszeit etwa waagrecht lagen. Die Geometrie der Kreuzschichtungen von Einheit 4, wo sie erhalten ist, steht dazu nicht im Widerspruch. Dies bedeutet, dass die heutige Schichtneigung gegen N auf die Hauptphase der Jurafaltung zurückgeht. Es kann also davon ausgegangen werden, dass während des Miozäns an dieser Stelle nur wenig Relief vorhanden war. Das Entstehen einer Rutschung oder Sackung bedingt aber eine gewisse Hangsituation. Eine grobe Abschätzung der Stabilitätsverhältnisse, ausgehend von der Kornverteilung der Sande von Einheit 4 (Fein- bis Mittelsand, gute Sortierung), kann von einem kritischen Böschungswinkel von ca. 20 Grad für den gesättigten Zustand ausgegangen werden (nach Lang & Huder 1985). Für das Versacken eines ganzen Schichtpaketes müsste eine dementsprechende Schichtneigung vorliegen. Für das Abrutschen einer Partie eines hypothetischen Rinnenrandes hingegen wäre eine wesentlich umfangreichere Auflösung des Gesteinsverbandes anzunehmen als effektiv vorliegt. Zudem kann kein basales Abscheren des Sedimentpaketes festgestellt werden. Aus diesen Gründen wird eine gravitativ bedingte Massenbewegung als Ursache für die Deformationen ausgeschlossen.

4.3 Tektonische Implikationen

Die Sedimente enthalten an gewissen Stellen jurassische Malmkalke (vgl. auch Büchi & Hofmann 1960, Spörli 1976). Das bedeuten, dass diese Gesteine damals in der näheren Umgebung an der Oberfläche anstanden, dass also eine gewisse Vorstufe der Lägernstruktur bereits vorhanden war.
Die Schichten der Einheit 1 lagen bei ihrer Entstehung subhorizontal. Der Kontakt zur Einheit 2 verläuft senkrecht zur Aufschlusswand mit einer klaren Winkeldiskordanz, wobei gegen W immer höhere Schichten angeschnitten werden (Fig. 3). Diese Diskordanz kann auf eine Kippung der Schichten von Einheit 1 gegen W zurückgeführt werden, welche vor der Ablagerung von Einheit 2 stattgefunden hätte. Es kann daraus aber auch die Entstehung einer Rinne abgeleitet werden, deren Achse E des Aufschlusses gelegen haben müsste. Die Schichten wären dann anschliessend gegen W gekippt worden. Dagegen spricht aber die Geometrie der Schrägschichtungen von Einheit 2. Wenn man die Kippung der Schichten gedanklich rückgängig macht, kommen die Toesets der Schrägschichten höher zu liegen als die Foresets. Dies wiederspricht dem Ablagerungsmechanismus der Schrägschichtungen. Aus diesem Grund wird der Variante einer Schichtkippung vor der Ablagerung von Einheit 2, verbunden mit einer lokalen Trockenlegung von Einheit 1, der Vorzug gegeben.
Eine solche Kippung der Schichten kann nicht in einen direkten Zusammenhang mit der Lägernfaltung stehen, weil die damit verbundenen Strukturen generell eine E-W-Orientierung aufweisen. Hingegen könnte Sie auf die Aktivität der nahegelegenen Chörnlisberg-Störung zurückgehen. Wenn ihr ein gewisser transpressiver Charakter zugebilligt wird, kann die Schichtkippung als Teilaspekt einer Flower structure gedeutet werden.

5. Sand bei Gebenstorf

5.1 Generelle Gliederung des Aufschlusses

Der Aufschluss Sand kann in drei Einheiten gegliedert werden (Fig. 7):

Einheit 1: Mittelkörnige, stark zementierte Sandsteine mit massiger Struktur und einzelnen Knauern. Im oberen Teil noch primäre Sedimentschichtungen erkennbar, welche aber durchwegs verbogen sind.
Interpretation: Die Schichtungen waren vermutlich ursprünglich als planare Kreuzschichtung ausgebildet, und entsprechen den Ablagerungen von Cross channel bars eines Flusses vom Typ Saskatchewan-River (nach Cant 1978 und Miall 1978).

Einheit 2: Schwach verkittete, mittelkörnige Sandsteine mit deutlicher Schichtung und einer bis zu 70 cm mächtigen, massigen Sandsteinlage mit zahlreichen Bruchstücken eines Süsswasserkalkes (bis 50 cm Durchmesser). Das Gefüge ist matrixgestützt. Es kommen auch Holzreste - zum Teil kleinere Äste - vor.
Interpretation: Diese Sedimente entstanden in einem Bereich einer Flussrinne (Saskatchewan-River-Typ, Miall 1978), welcher vorübergehend vom aktiven Fluss nicht beansprucht wurde. Das Milieu entspricht einer Sand flat (Cant 1978), die sich später zu einer bewachsenen Insel mit einem See entwickelte, worin sich ein Süsswasserkalk bildete.

Einheit 3: Trogförmig kreuzgeschichtete, locker verkittete, mittelkörnige Sandsteine mit Knauern bis zu 1 m Durchmesser.
Interpretation: Die trogförmig kreuzgeschichteten Sande entsprechen den Ablagerungen der Hauptrinnen eines Flusses vom Typ Saskatchewan-River (Nach Miall 1978).

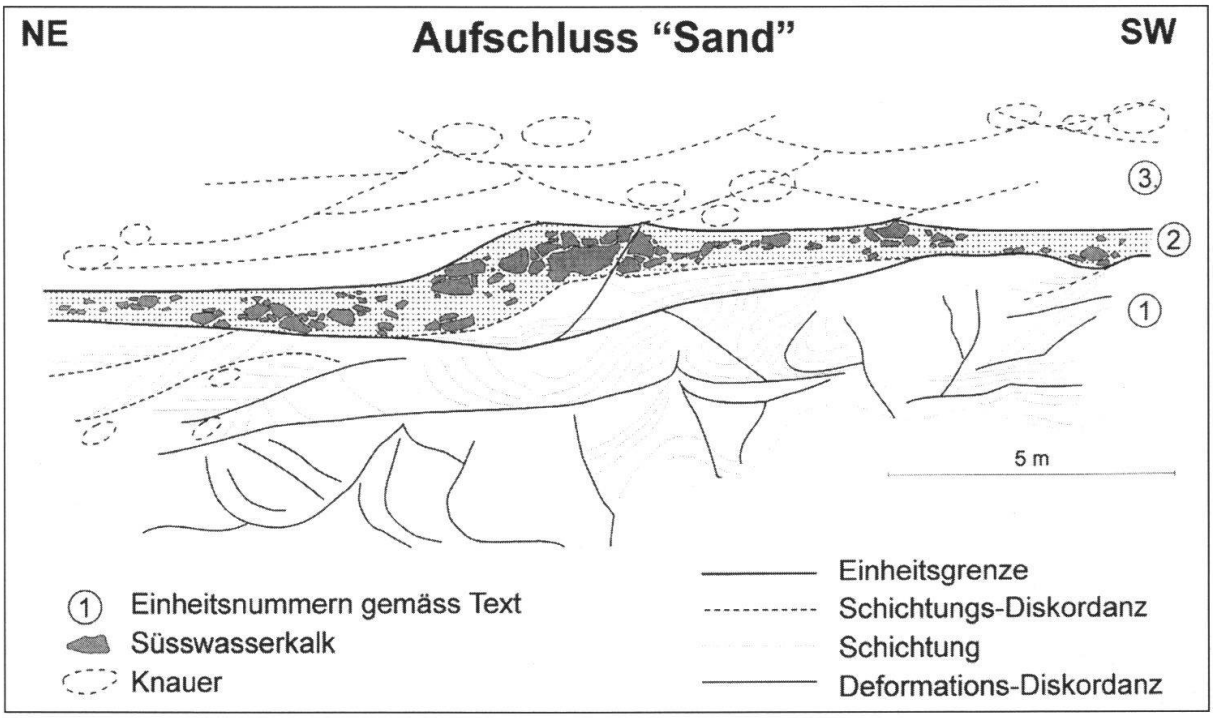

Fig. 7: Skizze des Aufschlusses Sand (Obere Süsswassermolasse) südlich von Gebenstorf.

5.2 Synsedimentäre Deformationen und ihre genetische Deutung

5.2.1 Beobachtungen

Im unteren Teil von Einheit 1 sind praktisch keine Schichtungen zu erkennen. Die Gesteine sind fast vollständig homogenisiert und werden unregelmässig von Brüchen durchzogen, welche oft stark gekrümmt verlaufen. Teilweise vereinigen sie sich in spitz zulaufenden Spickeln. Im oberen Teil sind Schichtungen noch erkennbar, aber sie sind durchwegs verbogen und sogar überkippt. Die Bäuche der Schichten weisen meist gegen N.
In Einheit 2 sind die geschichteten Sandsteinlagen zum Teil aufgewölbt und verschuppt. In der Lage mit Süsswasserkalkbruchstücken sind die einzelnen Bruchstücke zum Teil so angeordnet, dass ihre ursprüngliche Zusammengehörigkeit noch erkennbar ist. Eine bruchähnliche Struktur verläuft im mittleren Teil des Aufschlusses schräg aufwärts durch die Einheit hindurch.

5.2.2 Genetische Deutung

Einheit 1 weist Merkmale einer Verflüssigung des ursprünglichen Sedimentes auf. Die Brüche im Gestein sind wahrscheinlich als Entwässerungsstrukturen zu deuten, wie sie auch von der Anzflue beschrieben wurden. Der obere Teil von Einheit 1 hat eine gewisse laterale Bewegung erfahren, worauf die Ausrichtung der Bäuche der verbogenen Foresets gegen N hindeutet.
Die Auflösung des ursprünglichen Gesteinsverbandes von Einheit 2 geht wegen des matrixgestützten Gefüges kaum auf eine Verschwemmung durch fliessendes Wasser zurück. Gegen eine Entstehung als Debris flow spricht, dass immer wieder Bruchstücke nebeneinander liegen, welche ursprünglich zusammen gehörten. Ausserdem fehlt eine Einregelung der Komponenten und eine Gradierung. Wenn man von einer gewissen lateralen Bewegung von Einheit 1 ausgeht, ist es denkbar, dass Einheit 2 diese Bewegung mitmachte und dabei das Schichtgefüge aufgelöst wurde. Eine solche Zerrüttung von Gesteinsschichten kann auch seismisch induziert sein (z.B. Seth et al. 1996), falls ein wassergesättigtes, sandiges Substrat vorliegt.
Im Gegensatz zum Aufschluss Anzflue sind hier die Beziehungen der deformierten Sedimente zum Umgebungsgestein nicht ersichtlich. Vor allem ist nicht klar, ob ein basales Abscheren stattgefunden hat. Es kann deshalb nicht entschieden werden, ob eine (seismisch induzierte) In situ-Verflüssigung, oder eine bedeutende laterale Bewegung stattgefunden hat (Rutschungsmechanismus). Eine Deutung als Rutschung würde aber gewisse Voraussetzungen verlangen. Es müsste eine recht bedeutende Rinne innerhalb der Glimmersande entstanden sein, was eine relative Absenkung der lokalen oder regionalen Erosionsbasis bedingen würde. Dann könnten die beschriebenen Verhältnisse auf ein Abrutschen des Rinnenrandes zurückgeführt werden. Es sind den Autoren zwar keine dementsprechende grössere Rinnenbildungen innerhalb der Glimmersande bekannt, aber diese Möglichkeit kann vorläufig nicht ausgeschlossen werden, zumal aus der Unteren Süsswassermolasse der Westschweiz entsprechende Phänomene bekannt sind (Dr. M. Weidmann, mündl. Mitt.). Weil die OSM-Schichten der näheren Umgebung heute praktisch nicht geneigt sind, kommt ein Abrutschen eines schiefgestellten Schichtpaketes kaum in Frage. Dem Bild einer ausgedehnten, praktisch relieflosen Flussebene, wie es für die Glimmersandrinne üblicherweise angenommen wird, würde einer seismischen Deutung der Deformationen am besten entsprechen.

6. Schlussfolgerungen

In den OMM-Gesteinen vom Aufschluss Anzflue sind deutliche Hinweise auf eine seismische Ursache für die beobachteten Sedimentdeformationen vorhanden. Die betroffenen Gesteine sind somit als Seismite zu deuten. Die Schiefstellung der Schichten von Einheit 1 der Anzflue vor der Ablagerung der folgenden Einheit lässt auf eine damalige Aktivität der Chörnlisberg-Störung schliessen. Seismische Schocks könnten die Debris flows der Einheiten 3 und 6 ausgelöst haben. Die mehrfache Rinnenbildung deutet auf eine rege tektonische Aktivität hin. Auch aus Savoien sind Seismite bekannt, welche im Zusammenhang mit tektonischen Bewegungen im Bereich des Juragebirges während des Miozäns entstanden (z.B. Blanc 1991). Vor diesem tektonischen Hintergrund gesehen, deuten auch die Verhältnisse im Aufschluss Sand auf eine Erdbebentätigkeit hin. Auf welches tektonische Ereignis diese Erdbebentätigkeit während der OSM zurückgeführt werden kann, ist im Augenblick noch unklar.

Offenbar war ein Teil der Lägernstruktur während der OMM bereits aus dem Molassebecken herausgehoben worden. Sie trennte zwei Bereiche mit unterschiedlichen marinen Strömungen voneinander. Das Auskeilen des älteren Teils der OMM westlich von Wettingen deutet darauf hin, dass eine entsprechende Hochzone möglicherweise im Gebiet der heutigen eigentlichen Lägern nördlich von Wettingen lokalisiert war.

Verdankungen

Der erstgenannte Autor möchte diese Arbeit dem Gedenken von Thomas Bitterli widmen, der im Herbst 1998 einem tragischen Unfall zum Opfer fiel. Herzlichen Dank gebührt Herrn Daniel Meister für geotechnische Beratung, Herrn Felix Wahl für tatkräftige Mithilfe im Feld und Herrn Dr. Federico Matousek für die kritische Durchsicht des Manuskriptes (alle: Matousek, Baumann & Niggli AG, Baden). Die Autoren danken besonders der Sektion Geologische Landesaufnahme der Landeshydrologie und -geologie (LHG), in deren Auftrag die geologischen Aufnahmen für das zukünftige Atlasblatt Baden durchgeführt werden konnten. Besten Dank auch Herrn Dr. Reto Burkhalter (LHG) für die Korrektur das Abstracts.

Literatur erzeichnis

ALLEN, P.A., MANGE-RAJETZKY, M., MATTER, A. & HOMEWOOD, P. 1985: Dynamic palaeogeography of the open Burdigalian seaway, Swiss Molasse basin. Eclogae geol. Helv.. 78/2, 351-381.

ATWATER, B.F., NELSON, A.R., CLAGUE, J.J., CARVER, G.A., YAMAGUCHI, D.K., BOBROWSKY, P.T., BOURGEOIS, J., DARIENZO, M.E., GRANT, W.C., HEMPHILL-HALEY, E., KELSEY, H.M., JACOBY, G.C., NISHENKO, S.P., PALMER, S.P., PETERSON, C.D. & REINHART, M.-A. 1995: Summary of coastal geologic evidence for past great earthquakes at the Cascadia subduction zone. Earthquake Spectra. 11/1, 1-18.

BAUSCH, W. & SCHOBER, TH. 1997: Erläuterungen zum Blatt 8316/8416 Klettgau/Hohentengen am Hochrhein. Geol. L.-Amt Bad.-Württ.

BERGER, J.-P. 1992: Correlative chart of the european Oligocene and Miocene: Applications to the Swiss Molasse basin. Eclogae geol. Helv. 85/3, 573-609.

BHATTACHARYA, H.N. & BANDYOPADHYAY, S. 1998: Seismites in a Proterozoic tidal succession, Singhbhum, Bihar, India. Sedimentary Geology 119, 239-252.

BITTERLI-DREHER, P. 1998: Die Erdgeschichte des Gebietes von Endingen. In: Weibel, K.: 1200 Jahre Endingen.

BITTERLI, T. & MATOUSEK, F. 1991: Die Tektonik des östlichen Aargauer Tafeljuras. Mitt. Aarg. natf. Ges. 33, 5-30.

BLANC, E. 1991: Evolution sédimentaire syntectonique au front d'une chaîne de collision en environnement littoral. Le cas du Miocène (molasse marine) de la région de Chambéry, France. Rapp. DEA, Univ. de Savoie, Chambéry (unveröffentlicht).

BOLLIGER, TH. 1994: Geologie und Paläontologie der Glimmersandgrube Helsighausen (Kt. Thurgau). Mitt. Thurg. natf. Ges. 52, 63-79.

- 1998: Youngest OSM of Eastern Switzerland. Eclogae geol. Helv. 91/3, 312-332.

BRAUN, E. V. 1953: Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Hochrheingebiet zwischen Zurzach und Eglisau. Eclogae geol. Helv. 46/2, 143-170.

BÜCHI, U.P. & HOFMANN, F. 1960: Die Sedimentationsverhältnisse zur Zeit der Muschelsandsteine und Grobkalke im Gebiet des Beckennordrandes der Oberen Meeresmolasse zwischen Aarau und Schaffhausen. Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. Ing. 27/72, 11-22.

CANT, D.J. 1978: Development of a facies model for sandy braided alluvium: comparison of the South Saskatchewan River and the Battery Point formation. In: MIALL, A.D. (ed.): Fluvial sedimentology. canad. Soc. Petroleum-Geol, Mem. 5, 627-639.

COLEMAN, J.M. 1969: Brahmaputra river: Channel processes and sedimentation. Sediment. Geol. 3, 129-239.

COLLINSON, J.D. & THOMPSON, D.B. 1989: Sedimentary structures, 207 S., Unwin Hyman.

COOK, H.E., FIELD, M.E. & GARDNER, J.V. 1982: Continental slopes. In: SCHOLLE, P.A. & SPEARING, D.: Sandstone depositional environments, 329-364, George Banta Company.

GRAF, H. 1991: Die OMM und OSM im Gebiet des Kleinen Randen (südlicher badischer Klettgau). Mitt. natf. Ges. Schaffhausen 36, 1-44.

HANTKE et al. 1967: Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete 1:50'000. Vjschr. natf. Ges. Zürich 112/2, 91-122.

HOFMANN, F. 1989: Geologie des Bodenseeraumes. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 1/89, 4-8.

HOFMANN, F. & GYGI, R. 1961: Ein Vorkommen von Oberer Mariner Molasse am Kestenberg (Kanton Aargau). Eclogae geol. Helv. 54/2, 506-510.

HOMEWOOD, P. 1981: Faciès et environment de dépôt de la molasse de Fribourg. Eclogae geol. Helv. 74/1, 29-36.

ISLER, A., PASQUIER, F. & HUBER, M. 1984: Geologische Karte der zentralen Nordschweiz 1:100'000. Geol. Spez.-Karte Nr. 121, Schweiz. geol. Komm. und Nagra.

KÄLIN, D. 1993: Stratigraphie und Säugetierfaunen der Oberen Süsswassermolasse der Nordwestschweiz. Diss. ETH Zürich Nr. 10152, 238 S.

- 1997: The mammal zonation of the Upper Marine Molasse of Switzerland reconsidered – a local biozonation of MN2 – MN5. In: AGUILAR, J.-P., LEGENDRE, S. & MICHEAUX, J. (eds.): Actes du congrès BiochroM'97. Mémoires et Travaux de l'E.P.H.E., Institut de Montpellier 21, 515-535.

KELLER, B. 1989: Fazies und Stratigraphie der Oberen Meeresmolasse (unteres Miozän) zwischen Napf und Bodensee. Diss. Univ. Bern, 403 S.

KEMPF, O., BOLLIGER, T., KÄLIN, D., ENGESSER, B. & MATTER, A. 1997: Revised magnetostratigraphic calibration of Oligocene to Miocene mammal biozones of the North Alpine foreland basin. In: AGUILAR, J.-P., LEGENDRE, S. & MICHEAUX, J. (eds.): Actes du congrès BiochroM'97. Mémoires et Travaux de l'E.P.H.E., Institut de Montpellier 21, 547-561.

LANG, H.-J. & HUDER, J. 1985: Bodenmechanik und Grundbau. 252 S. Springer Verlag.

MBN AG 1996: Reflexionsseismik Rütihof-Dättwil, geologische Interpretation. Unveröff. geol. Gutachten vom 12.4.1996, zuhanden des Aargauischen Baudepartementes.

- 1998: Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt 1070 Baden. Manuskriptkarte zuhanden der Landeshydrologie und -geologie.

MIALL, A.D. 1978: Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. In: MIALL, A.D. (ed.): Fluvial sedimentology. canad. Soc. Petroleum-Geol. Mem. 5, 597-604.

MÜHLBERG, F. 1901: Geologische Karte der Lägernkette 1:25'000. Geol. Spez.-Karte Nr. 35, Schweiz geol. Komm.

OWEN G. 1996: Experimental soft-sediment deformation: structures formed by the liquefaction of unconsolidated sands and some ancient examples. Sedimentology 43, 279-293.

SETH, A., SARKAR, S. & BOSE, P.K. 1990: Synsedimentary seismic activity in an immature passiv margin basin (lower Member of the Katrol formation, upper Jurassic, India). Sedim. Geol. 68, 279-291.

SPÖRLI, K.B. 1976: Geologische Wanderungen in der Umgebung von Baden. Bad. Neujahrsbl. 51, 83-103.

STEINIGER, F. 1999: Chronostratigraphy, geochronology and biochronology of the Miocene "European land mammal mega-zones" (ELMMZ) and the Miocene "mammal-zones, (MN-zones)". In: RÖSSNER, G. & HEISSIG, K. (eds.): The Miocene land mammals of Europe, 9-24, Verlag Dr. Friedrich Pfeil.

WÜRTENBERGER, F.J. 1870: Die Tertiärformation im Klettgau. Z. dt. geol. Ges. 22, 471-581.