

Sedimentpetrographische und tektonische Gliederung der Molasse in der Bohrung St. Gallen GT-1

Autor(en): **Schlanke, Sigurd**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft**

Band (Jahr): **92 (2015)**

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-832652>

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

Sedimentpetrographische und tektonische Gliederung der Molasse in der Bohrung St. Gallen GT-1

Sigurd Schlanke

Inhaltsverzeichnis

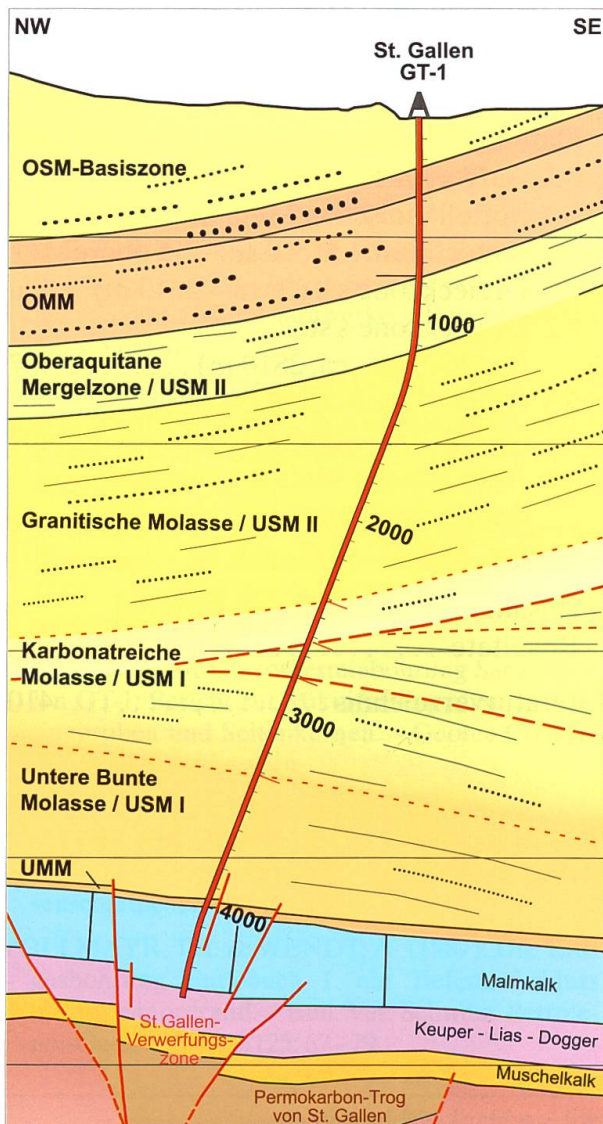
<p>Kurzfassung 394</p> <p>1 Einleitung. 394</p> <p>2 Lithologische Gliederung der USM . . 395</p> <p>3 Sedimentpetrographische Gliederung der Molasseabfolge (30 m – 3992 m) . 395</p> <p> 3.1 Kalzimetrie-Analysen 396</p> <p> 3.2 Schwermineral-Analysen 396</p> <p> 3.3 Kalzistratigraphische Gliederung der OSM (Abb. 2) . . . 397</p> <p> 3.4 Kalzistratigraphische Gliederung der OMM (Abb. 2) . . 398</p> <p> 3.5 Sedimentpetrographische Gliederung der USM (Abb. 1 und 3–7) 399</p> <p> 3.5.1 USM II, Aquitanien, ca. 768 m – ca.1135 m, Einheit A 400</p> <p> 3.5.2 USM II, ca. 1140 m – ca. 1660 m, Einheit B 400</p> <p> 3.5.3 USM II, ca. 1665 m – ca. 2265 m, Einheit C 401</p> <p> 3.5.4 USM II, ca. 2270 m – ca. 2520 m, Einheit D 401</p> <p> 3.5.5 USM I, ca. 2525 m – ca. 3170 m, Einheit E 401</p> <p> 3.5.6 USM I, ca. 3175 m – ca. 3971 m, Einheit F 403</p>	<p> 3.6 Untere Meeresmolasse, ca. 3972 m – 3992 m 404</p> <p>4 Stratonomische Aspekte der USM in der Bohrung GT-1. 404</p> <p>5 Interpretation der Tektonik aufgrund sedimentpetrographischer Daten (Abb. 7). 406</p> <p> 5.1 Aufgerichteter Südrand der Mittelländischen Molasse (autochthone Molasse) und obere Dreieckzone s.l. (30 m – 2640 m) . 406</p> <p> 5.2 Dreieckzone s.str. (ca. 2645 m – ca. 2810 m) 407</p> <p> 5.3 Untere Dreieckzone s.l. (ca. 2810 m – 3310 m) 407</p> <p> 5.4 Autochthone Molasse unterhalb der Dreieckzone s.l. (ca. 3315 m – 3971 m) 407</p> <p>6 Zusammenfassung der wichtigsten Resultate 409</p> <p>Literaturverzeichnis 410</p>
---	--

Kurzfassung

Mit der Bohrung St. Gallen GT-1 wurde eine der längsten, stratigraphisch zusammenhängenden Molassestrecken der Schweiz erbohrt. Die entlang dem Bohrfad (along hole) gemessene Länge beträgt 3988 m, was einer errechneten, stratigraphischen Molassemächtigkeit von ca. 3724 m entspricht (siehe NAEF 2015: Tabelle 1).

Folgende Formationen wurden dabei durchörtert:

- Obere Süßwassermolasse (OSM): 222,40 m
- Obere Meeresmolasse (OMM): 510,1 m



- Untere Süßwassermolasse (USM): 2971,6 m
- Untere Meeresmolasse (UMM): 19,7 m

Die <wahre> stratigraphische Mächtigkeit der USM-Abfolge dürfte etwas geringer sein als die errechnete Schichtmächtigkeit von ca. 2971 m, weil die tektonisch bedingte Verdickung im Bereich der Dreieckszone nicht genauer bekannt ist.

Im vorliegenden Beitrag werden in Kap. 2 die lithologischen Gegebenheiten der USM-Abfolge in stark verkürzter Form wiedergegeben. In Kap. 3 wird der gesamte Molasse-Abschnitt mittels Karbonat-Analysen (ca. 800 Proben) in mehrere kalzimetrische Einheiten gegliedert, wobei auf der USM/UMM-Strecke die Einheiten mittels Schwermineralanalysen zusätzlich charakterisiert werden.

Kap. 4 befasst sich kursorisch mit einigen stratonomischen Aspekten der USM (Numerische Parameter) und in Kap. 5 wird die Dreieckszone (ca. 2270 m – ca. 3315 m) im Bereich der USM mit Hilfe der Sedimentpetrographie tektonisch gegliedert. Kap. 6 enthält zusammenfassend die wichtigsten Resultate.

1 Einleitung

Eine ausführliche Beschreibung der Bohrplanung und der Projektziele sind im Beitrag von NAEF (2015) in diesem Band nachzulesen. Demnach lag das Schwergewicht der Untersuchungen im Bereich des Malm, wo die geothermisch nutzbaren, wasserführenden Gesteinsschichten erwartet wurden. Die Molassestrecke wurde deshalb rationell, d.h. möglichst rasch durchbohrt und ist auch nicht zusammenhängend mit hochauflösenden geophysikalischen Daten dokumentiert. Dank einer konsequenten Probenahme im 5 m-Abstand und der vor-Ort-Auswertung der Bohrklein- resp. Cutting-Proben durch GEOdata konnte trotzdem ein detailliertes lithostratigraphisches Profil erstellt und im regionalen Kontext beschrieben werden.

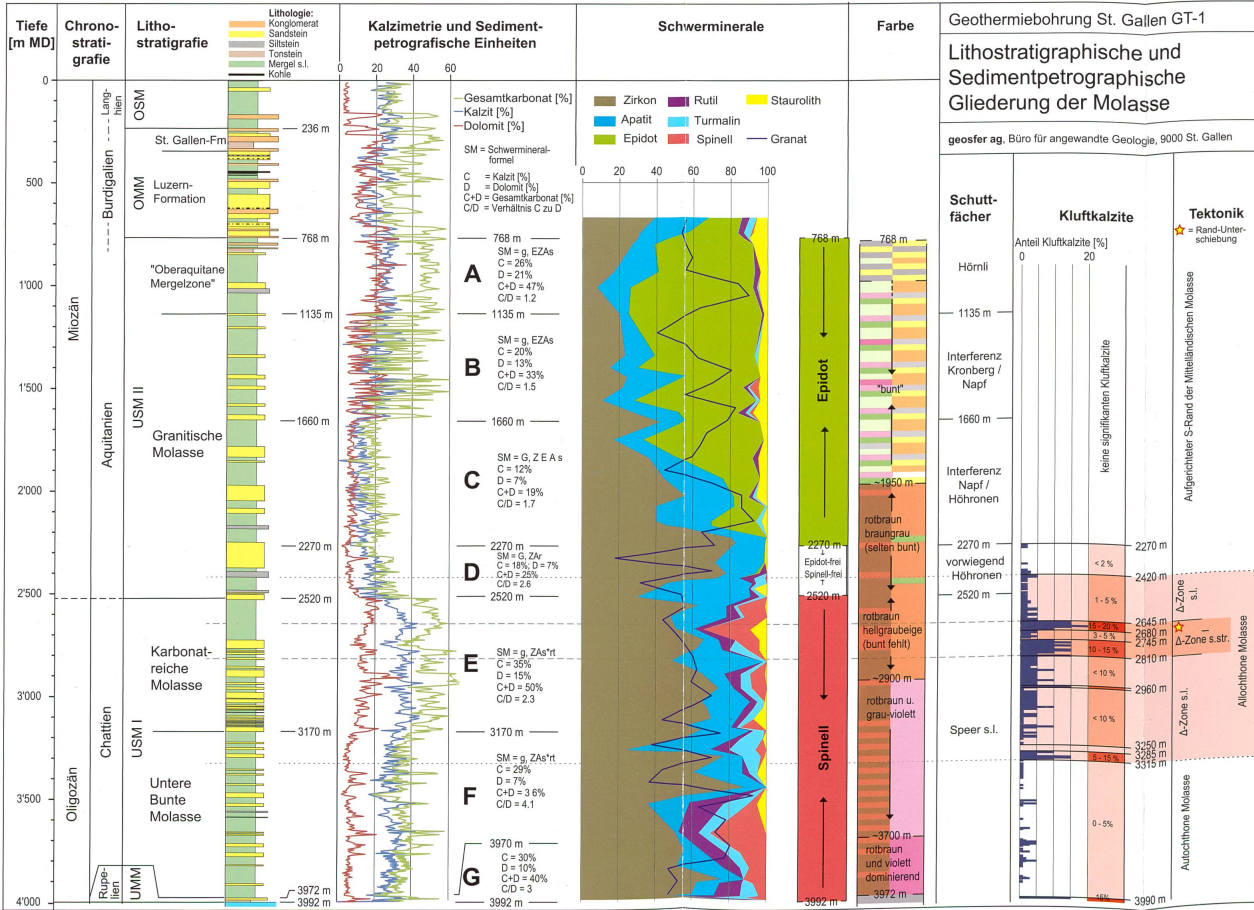


Abbildung 1: Überblick über die Ergebnisse der sedimentpetrographischen Auswertung der Molasse in der Bohrung St. Gallen GT-1. Erläuterungen siehe Text.

Eine hervorragende Bedeutung spielten dabei die Karbonat-Analysen ergänzt durch die Auswertung von Schwermineralspektren.

2 Lithologische Gliederung der USM

Eine detaillierte lithologische Beschreibung der Molasse wurde im Beitrag von NAEF (2015, in diesem Band) bereits vorgenommen. Insbesondere die OMM und die OSM konnten aufgrund detaillierter Cuttings-Beschreibungen und petrophysikalischer Logs lithostratigraphisch gegliedert und mit benachbarten Oberflächenaufschlüssen korreliert werden.

Da sich die sedimentpetrographische Bearbeitung im vorliegenden Beitrag hauptsächlich mit der USM befasst, wird die Lithologie dieser ca. 3 km mächtigen Abfolge im Folgenden in stark vereinfachter und verkürzter Form wiedergegeben (alle Tiefenangaben in Meter ab Erdoberfläche entlang Bohrpfad, MD = measured depth).

ca. 768 m – ca. 1135 m Mergelreicher Abschnitt, bis ca. 870 m vorwiegend graugelb- bis ocker-farbig, darunter mehrheitlich bunte Färbung, d.h. zusätzlich mit grünen und roten Farbtönen. Konglomerate kommen bis ca. 820 m vor, der Rest der USM ist praktisch konglomeratfrei. Aufgrund von Kalzimetrie-Daten wird der ganze Abschnitt der <Oberaquitanen Mergelzone> zugeordnet.

ca. 1135 m – ca. 2520 m Granitische Molasse: Die Sandsteine führen hier die charakteristischen rötlichen Feldspatkörner und Mergel weisen vorwiegend Buntfärbung auf. Ab ca. 1950 m treten die bunten Farbtöne zurück, rotbraune Farben sind vermehrt vorhanden und beginnen im untersten Teil des Abschnittes zu dominieren. Erstes zaghaftes Auftreten von weissen Kluffkalziten wird ab ca. 2270 m (<5%) beobachtet.

ca. 2520 m – ca. 3170 m Karbonatreiche Molasse: Die hier vorherrschenden Sandstei-

ne vom Typus Ebnater Sandstein (siehe z.B. ZAUGG & LÖPFE 2011, HABICHT 1987) sind karbonatreich, grau bis gelb-bräunlich, zeigen also keine bunten Farbtöne mehr und nehmen ab ca. 2900 m häufiger violett-rotbraune Farben an. Von ca. 2870 m – ca. 3170 m treten vermehrt Kalksandsteine auf. Im ganzen Intervall wird häufig weisser Kluffkalzit beobachtet; Bohrlochabschnitte mit Anteilen von mehr als 10% Kluffkalzit-Anteil in der gesamten Cuttingprobe (2645 m – 2680 m, 2745 m – 2810 m, 2960 m, 3090 m) werden als Zonen mit deutlicher tektonischer Überprägung interpretiert. Erwähnenswert ist aus das vereinzelt Auftreten von <pseudogranitischem> Sandstein (s. Kap. 3.5.5).

ca. 3170 m – ca. 3972 m Untere Bunte Molasse: Diese Silt-Mergel-Tonstein dominierte Zone besteht vorwiegend aus rotbraunen bis violetten Mergeln, die ab ca. 3700 m vermehrt auffallende, lila-violette Farbtöne aufweisen. Die Cutting-Proben dieses ältesten USM-Abschnittes zeigen deutlich weniger Kluffkalzite, einzig von 3285–3310 m beträgt deren Anteil nochmals > 10% und tritt darunter nur noch sporadisch in Mengen < 5% auf .

ca. 3972 m – 3992 m Untere Meeresmolasse: Die Grenze Zwischen USM und UMM bei ca. 3972 m ist durch einen scharfen Wechsel von violett-rotbraunen zu hell- bis dunkelgrauen Farbtönen gekennzeichnet. Von 3972 m – ca. 3981 m dominiert Horwer Sandstein, darunter bis zur Molassebasis bei 3992 m ist Silt-Mergel-Tonstein vom Typus Grisiger Mergel vorherrschend.

3 Sedimentpetrographische Gliederung der Molasseabfolge (30 m – 3992 m)

Abbildung 1 zeigt eine zusammenfassende Darstellung der sedimentpetrographischen Daten und ihrer Interpretation, wie sie im Folgenden erläutert wird.

3.1 Kalzimetrie-Analysen

Die Gliederung der Molasse erfolgte hauptsächlich aufgrund von Karbonat-Analysen (Kalzimetrie). Mit diesem Verfahren wurden alle Bohrproben mit Hilfe des Kalzimeters auf ihren prozentualen Gehalt an Kalzit und Dolomit hin untersucht. Dieser, in einer Molassebohrung erstmals angewandte, sehr enge Proberaster (ca. 800 Proben) hat Pilotcharakter. Er ermöglichte bereits auf der Bohrstelle eine rasche und objektive Gliederung der lithologisch uniformen und praktisch fossilfreien USM in klar definierte und abgrenzbare Kalzimetrie-Einheiten (s. Abb. 1). Ein bedeutender Vorteil der Kalzimetrie-Methode besteht darin, dass der Einfluss der Bohrmethode auf die Analysenergebnisse weitgehend vernachlässigbar ist. Dies im Gegensatz zur Cuttings-Beschreibung oder zur Dünnschliff-Analyse, bei der die Deformation (Metamorphisierung, Frittung) des Gesteins durch den PDC-Meißel oft Probleme bereitet (PDC= Polycrystalline Diamond Compact cutter; siehe Beitrag Naef 2014, Abb. 6).

Bereits frühere Molasseuntersuchungen an Oberflächen- und Bohrprofilen (u.a. BÜCHI et al. 1965; FÜCHTBAUER 1958, 1964; HOFMANN 1958–1968; LEMCKE et al. 1968; MAURER et al. 1982; FREI 1979; SCHLANKE 1974–2012) haben gezeigt, dass sich die quantitative und qualitative Karbonatzusammensetzung vom Liegenden zum Hangenden grossräumig und gesetzmässig verändert und somit eine kalzistratigraphische Gliederung der USM-Abfolge ermöglicht.

3.2 Schwermineral-Analysen

Zusätzlich zur Karbonatbestimmung wurden an den USM-Sedimenten ca. 50 Schwermineral-Analysen durchgeführt. Die Probenherstellung und Auswertung der Schwermineral-Präparate erfolgte durch den Autor während der Bohrphase vor Ort. Ziel dieses <Online-Monitorings> war, die stratigraphische Kontrolle der uniformen USM-Abfolge und damit verbunden auch allfällige

tektonische Diskontinuitäten frühzeitig zu erkennen. Zudem gestatteten die Schwermineral-Analysen eine qualitative Präzisierung und Zuordnung der im kalzimetrischen <Raster> erhobenen Einheiten (A-F, vgl. Abb. 1) hinsichtlich Lithostratigraphie, Schuttfächerzugehörigkeit, Paläogeographie etc.

Da der Zeitaufwand und die Kosten für eine Schwermineral-Analyse ungleich grösser sind als bei der Kalzimetrie-Analyse, musste auf einen engeren Probenabstand verzichtet werden. Im Bereich OSM und OMM wurden keine Schwermineral-Präparate hergestellt.

Wie bei der Kalzimetrie zeigten frühere Untersuchungen, dass sich auch die Schwermineral-Assoziationen vom Liegenden zum Hangenden gesetzmässig verändern und damit die Etablierung einer grossräumigen <Schwermineral-Stratigraphie> ermöglichen (s. Autoren, zitiert in Kapitel 3.1).

Die relative <Synchronizität> der Schwermineral- und Karbonatwechsel ist eng mit dem Geschehen im damaligen Alpenraum verknüpft. Die Molassesedimente wurden als Abtragungsprodukt der werdenden Alpen während des Oligozäns und des Miozäns durch riesige Schuttfächer-Systeme grossflächig in die alpine Vorlandsenke eingeschwemmt und lithifiziert. Die sedimentpetrographischen Veränderungen in den Molasseablagerungen sind auf entsprechende, mehr oder weniger gleichzeitige, grossräumige tektonische Umgestaltungen in den alpinen Erosionsgebieten (distributive Provinzen) zurückzuführen (s. hierzu z.B. SCHLUNEGGER 1999). Nicht selten vermischen sich <reinrassige>, radiale Schüttungen (S-N) mit tangentialen, während der USM meistens von Westen her geschüttetem Detritus. Bei Kenntnis der schuttfächerspezifischen Gegebenheiten können die Ablagerungen in den Interferenzgebieten meistens auch den verschiedenen Schuttfächern zugeordnet werden (u.a. FÜCHTBAUER 1964, HOFMANN 1960).

Die bisherigen Erfahrungen in der Molasseforschung haben gezeigt, dass die Kalzimetrie- und Schwermineral-Analysen sehr

zuverlässige Methoden darstellen, um neue Molasseaufschlüsse (insbesondere Bohrungen) in bereits bestehende, regionale und überregionale, sedimentpetrographische Korrelations-Raster einzubauen.

Einschränkend muss festgehalten werden, dass die Cutting-Proben, welche in GT-1 mit PDC-Meißel (ab ca. 960 m) erbohrt wurden, nicht ohne weiteres mit Cutting-Proben aus Rollenmeißel-Bohrungen verglichen werden können. Bei letzteren können aus dem Bohrgut in der Regel mit vertretbarem Aufwand geeignete Sandstein-Cuttings für die Schwermineral-Analyse ausgelesen werden (Standardmethode). Mit der PDC-Bohrtechnik hingegen werden die Cuttings a priori mehr beansprucht, frittiert, zerkleinert und metamorphisiert. Insbesondere die Sandstein-Cuttings werden häufig zu losem Sand zerbohrt, sodass das übliche Sandstein-Picking für die SM-Analyse praktisch unmöglich wird. Um dennoch Aussagen zur Schwermineralführung machen zu können, musste für die Analyse das gesamte Cutting-Spektrum (Ton-Mengel-Silt-Sandstein) verarbeitet werden, was die Herstellung von repräsentativen Schwermineralpräparaten erschwerte und die Vergleichbarkeit mit SM-Präparaten aus älteren Rollenmeißelbohrungen beeinträchtigte.

Die Erfahrung mit GT-1 hat nun gezeigt, dass beim Vergleich der prozentualen Anteile in den Schwermineral-Spektren eher semiquantitative Massstäbe gelten. Die qualitative Zusammensetzung der Schwermineral-Assoziationen hingegen kann ohne größere Probleme mit Resultaten aus älteren Tiefbohrungen (Rollenmeißel) und Oberflächenproben verglichen werden. Derartige Korrelationen würden hingegen den Rahmen dieser Publikation sprengen. Es ist deshalb vorgesehen, die Einbindung der sedimentpetrographischen Resultate von GT-1 in die regionalen Gegebenheiten (auch Bohrungen) in einem separaten Bericht darzustellen.

3.3 Kalzistratigraphische Gliederung der OSM (Abb. 2)

Kalzimetrie: Kalzit = 24%, Dolomit = 4%, Gesamtkarbonat = 28%, Kalzit/Dolomit = 6

Wie bereits erwähnt, wurden in der OSM und OMM nur Kalzimetrie-Analysen und keine Schwermineral-Analysen durchgeführt.

Die Karbonatwerte zeigen in der Basiszone der OSM ein erstaunlich homogenes Bild: Der durchschnittliche Kalzitgehalt liegt bei 24%, der Dolomitanteil weist einen sehr tiefen Wert von 4% auf. Zusammen mit dem hohen Quotienten für das Kalzit/Dolomit-Verhältnis von ca. 6 kann die Basiszone der OSM mit keinem anderen Molasseabschnitt verwechselt werden. Zu erwähnen ist, dass Cutting-Proben aus Konglomeratabschnitten (gilt auch für OMM und USM) für die statistische Auswertung nicht berücksichtigt und in den Karbonatprofilen auch nicht dargestellt wurden, da der wechselnde Anteil an karbonatischen und kristallinen Geröllkomponenten die Karbonat-Analyse dieser Proben zu stark verfälscht.

Die kalzimetrische Grenze zur liegenden OMM lässt sich wie folgt definieren:

Die Probe 270 m weist noch typische Kalzimetriewerte der OSM auf (vgl. Abb. 2). Zwischen 270 m und 305 m liegen mehrere Konglomeratbänke, deren Karbonatgehalt nicht berücksichtigt und dargestellt werden. Die erste konglomeratfreie Probe bei 305 m zeigt OMM-typische Kalzimetrie-Werte, vor allem einen hohen Dolomitanteil von mehr als 20%. Die kalzistratigraphische Grenze OSM/OMM liegt somit zwischen 270 m und 305 m.

Für die Berechnung der kalzimetrischen Mittelwerte wurden die konglomeratfreien Proben von 30 m bis 305 m verwendet.

Die lithostratigraphische Basis der OSM wird hingegen aufgrund lithologischer Cuttingsbeschreibungen und dem Vergleich mit Oberflächenproben bei **236 m** gezogen. Aufgrund der Kalzimetrie-Werte ist der basale

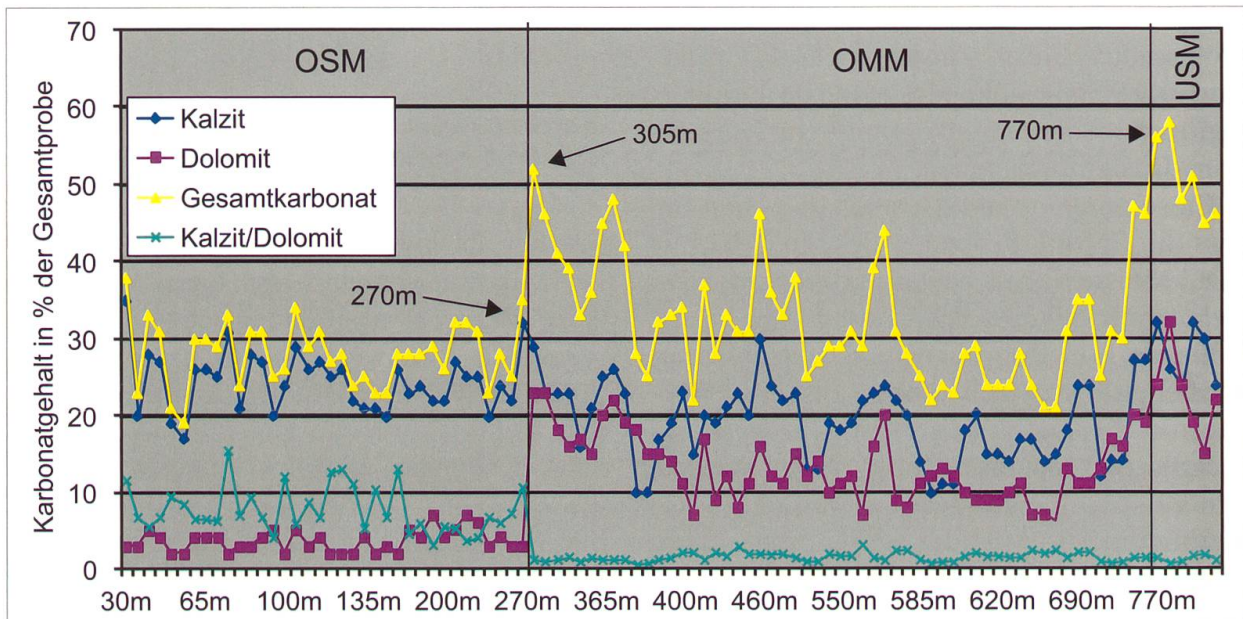


Abbildung 2:
Kalzimetrie-Daten von OSM und OMM: Die Karbonatkurven zeigen im OSM-Abschnitt einen relativ homogenen Verlauf, der auf die Dominanz einer einheitlichen Schüttung schliessen lässt (Bodensee-Schüttung). Im Gegensatz dazu deutet der unruhige Kurvenverlauf in der OMM auf die Mitwirkung von mindestens 2 Schüttfächersystemen hin. Erwähnenswert ist die Tatsache, dass die kalzimetrische Untergrenze der OSM (zwischen 270 m und 305 m) von der lithostratigrafischen Grenzziehung (236 m, s. NAEF 2014 in diesem Band) abweicht.

Teil der OSM eindeutig der radialen Bodensee-Schüttung zuzuordnen. Gemäss HOFMANN (1957) liegt die distributive Provinz dieser Schüttung in einer reinen Flyschregion mit extrem niedrigem Dolomitanteil.

3.4 Kalzistratigraphische Gliederung der OMM (Abb. 2)

**Kalzimetrie: Kalzit = 19%, Dolomit = 13%,
Gesamtkarbonat = 32%,
Kalzit/Dolomit = 1.5**

Gegenüber der OSM unterscheidet sich die OMM durch markant höhere Gesamtkarbonat- und Dolomitwerte. Zudem liegt das C/D-Verhältnis mit 1.5 deutlich tiefer als in der OSM (6.0).

Eine zuverlässige Gliederung kann aufgrund des heterogenen Verlaufs der Kalzimetrie-Kurven vorläufig noch nicht vorgenommen werden. Zudem fehlt ein lithostrati-

graphisch-kalzimetrisches Vergleichsprofil (Oberfläche/benachbarte Bohrungen). Dennoch sind die Kalzimetrie-Werte von GT-1 für die Interpretation von künftigen OMM-Profilen von grosser Bedeutung (Referenzdaten).

In wieweit der Abnahme des Dolomitgehalts im Abschnitt 305 m – 430 m, den anschliessend relativ tiefen Dolomitwerten von ca. 435 m – 680 m und dem Dolomitanstieg im Basisbereich der OMM (685 m – 768 m) überregionale Bedeutung zukommt, bleibt vorderhand offen.

Die kalzimetrische Grenze zur liegenden USM lässt sich wie folgt beschreiben:

Die Probe 715 m weist noch eindeutig OMM-Werte auf (C = 22%, D = 13%). Zwischen 715 m und 770 m liegen mehrere Konglomeratbänke mit kalkig-dolomitischem Geröllinhalt. Die Kalzimetrie-Werte werden deshalb in diesem Abschnitt nicht berücksichtigt. Die erste konglomeratfreie Probe liegt

bei 770 m (C = 32%, D = 24%) und weist Kalzimetrie-Werte wie in der obersten USM auf (Abb. 2). Die **kalzistratigraphische** Grenze zur USM liegt somit zwischen den Proben 715 m und 770 m.

Für die Berechnung der Kalzimetrie-Mittelwerte wurden nur die konglomeratfreien Proben zwischen 305 m und 715 m berücksichtigt. Die **lithostratigraphische** Grenze zur USM ergibt sich aus dem lithologischen Vergleich der Cuttingsbeschreibungen mit Oberflächenprofilen der näheren Umgebung (s. NAEF 2014, in diesem Band). Dementsprechend wird die Untergrenze der OMM an die Basis des «Burdigalen Basiskonglomerates» bei 768 m gelegt (BÜCHI 1955, vgl. aber auch Diskussion in EUGSTER et al. 1960).

Gemäss HOFMANN (1957) stammen die Sedimente der OMM im Raum der Stadt St.Gallen überwiegend aus der Hörnli-Schüttung, gelegentliche Einschwemmungen aus der östlich gelegenen Bodensee-Schüttung finden sich im vor allem in der «burdigalen Zwischenzone».

3.5 Sedimentpetrographische Gliederung der USM (Abb. 1 und 3 – 7)

Da für die Gliederung der USM-Abfolge neben der Kalzimetrie auch Schwermineral-Analysen durchgeführt wurden, sei hier kurz auf die von FÜCHTBAUER 1964 eingeführte sedimentpetrographische Formel eingegangen:

Da Granat oft in grossen Mengen auftritt, wird er gesondert gezählt. Die Granatprozentage werden wie folgt berechnet: Die Anzahl der bestimmten Schwerminerale (ohne Granat) wird = 100% gesetzt und der Granat wiederum in Prozent aller Schwerminerale ausgedrückt. In den sedimentpetrographischen Formeln wird Granat immer vorangestellt. Tritt er als häufigstes Schwermineral auf, wird er gross (G) geschrieben, sonst klein (g). Die übrigen Schwerminerale folgen in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit. Hauptgemengteile $\geq 10\%$ werden gross geschrieben, Nebengemengteile ($2 < 10\%$) klein.

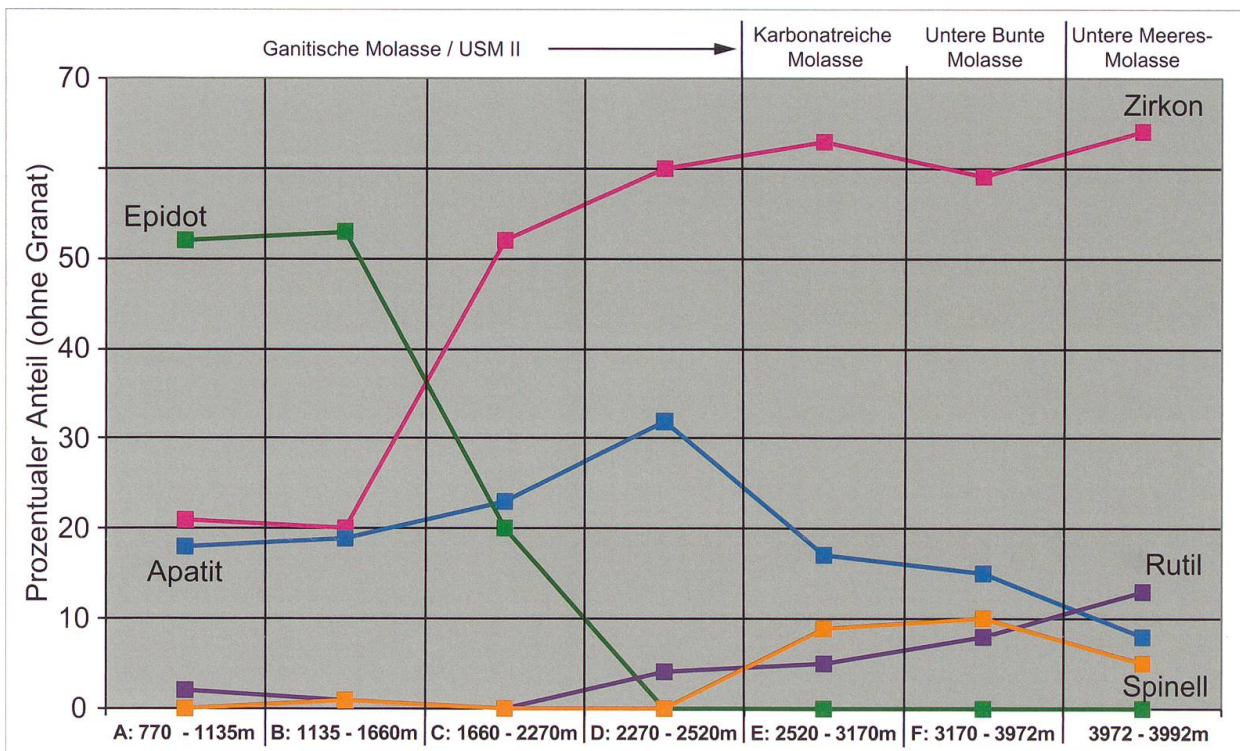


Abbildung 3: Die vereinfachte Darstellung der Schwermineral-Mittelwerte in den USM-Einheiten widerspiegelt die Beteiligung der verschiedenen Schuttfächersysteme am Aufbau der USM-Sedimente (siehe auch Abb. 1).

Die Abkürzungen bedeuten:

G = Granat, Z = Zirkon, A = Apatit, E = Epidot, R = Rutil, T = Turmalin, S* = Spinell, S = Staurolith

C = Kalzit, D = Dolomit, C+D = Gesamtkarbonat, C/D = Quotient Kalzit/Dolomit

3.5.1 USM II, Aquitanien,

ca. 768 m – ca. 1135 m, *Einheit A*

SM-Formel: g, EZAs

Kalzimetrie: C = 26%, D = 21%,

C* 47%, C/D 1.2

Dieser oberste Abschnitt der USM ist durch den höchsten Dolomitanteil (Mittelwert = 21%) des gesamten Molasseprofils charakterisiert. Die Eigenständigkeit dieses Abschnittes gegenüber dem unmittelbar Liegenden und Hangenden wird zudem durch den hohen Gesamtkarbonat-Gehalt (47%) untermauert. Bei den Schwermineralen dominiert Epidot (Mittelwert: 53%). Auffallend tief sind die Anteile von Zirkon und Apatit.

Aufgrund der sedimentpetrographischen Zusammensetzung wird dieser oberste USM-Abschnitt eindeutig der <Oberaquitanen Mergelzone> (u.a. FÜCHTBAUER 1964,

HOFMANN 1960, SCHLANKE 1974) zugeordnet (Kombination von hohen Epidot- und Karbonatwerten, v.a. Dolomit). Die Sedimente der <Oberaquitanen Mergelzone> stammen aus der radialen Hörnli-Schüttung, welche sich aus der liegenden, jüngeren Kronberg-Schüttung entwickelte.

3.5.2 USM II, ca. 1135 m – ca. 1660 m, *Einheit B*

SM-Formel: g, EZAs

Kalzimetrie: C = 20%, D = 13%, C* = 33%, C/D = 1.5

Während im vorhergehenden Abschnitt die Karbonate mehrheitlich konstant hohe Werte aufwiesen, ist die Abfolge ab ca. 1140 m durch stark oszillierende Karbonatkurven gekennzeichnet (Abb. 4). Hohe Karbonatwerte mit gleichzeitigem Epidotreichtum und Staurolith als Nebengemengteil sind der Sedimentzufuhr aus der radialen (oberen/jüngeren) Kronberg-Schüttung (= Vorläufer der Hörnli-Schüttung) zuzuordnen. Demgegenüber legen niedrige Karbonatwerte (v.a. Dolomit) bei gleichzeitig starker Epidot-Präsenz den Einfluss der gleichaltrigen, tangential

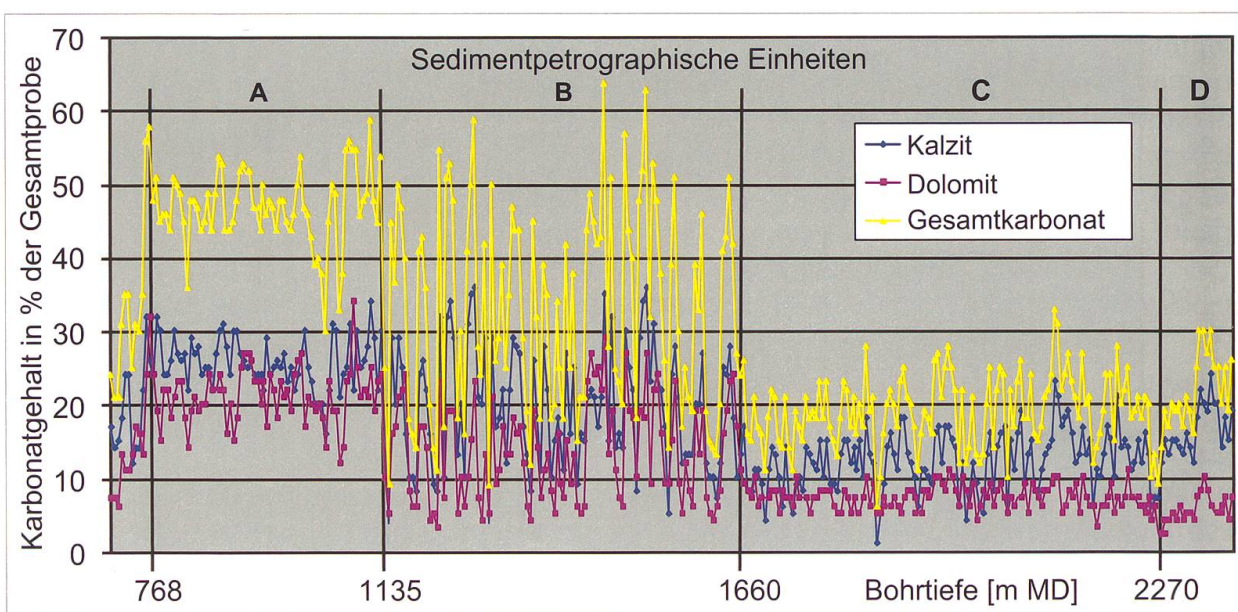


Abbildung 4: Kalzimetrie der jüngeren USM: Die Daten zeigen, dass sich die USM II-Sedimente in scharf abgegrenzte Einheiten (A-D) gliedern lassen. Zusammen mit den Schwermineralassoziationen lassen sich auch die beteiligten Schüttungen identifizieren (siehe Abb. 1).

von Westen her geschütteten Sedimente des Napf-Schuttfächers nahe. Diese Interferenzsituation zwischen radialen Schüttungen der USM II und tangentialer Napf-Schüttung wurde in früheren Arbeiten bereits mehrfach beschrieben (u.a. FÜCHTBAUER 1964; HOFMANN 1957, 1969, 1968; SCHLANKE 1974, in HANTKE et al. 2009). Hinsichtlich der Schwermineral-Assoziation sind gegenüber dem Hangenden (Einheit A) keine wesentlichen Unterschiede zu erkennen (Abb. 3).

Das <Ringens> um die Vormachtsstellung der radialen Schüttung aus Süden (Kronberg, Epidot- und karbonatreich, mit Stauroolith als Nebengemengteil) und der tangentialen Schüttung aus Westen (Napf, Epidotreich und karbonatarm) widerspiegelt sich exemplarisch in Form der oben erwähnten stark schwankenden Karbonatanteile.

Die so definierte Einheit B ist als jüngerer Teil der <Granitischen Molasse> zu betrachten.

3.5.3 USM II, ca. 1660 m – ca. 2270 m, Einheit C

SM-Formel: G, ZEAs

**Kalzimetrie: C = 12%, D = 7%, C* = 19%,
C/D = 1.7**

Dieser Abschnitt unterscheidet sich vom vorhergehenden deutlich durch weniger stark oszillierende und sehr niedrige Karbonatwerte, insbesondere durch den konstant tiefen Dolomitanteil (meistens <10%). Die tiefen Karbonatwerte sind die niedrigsten in der ganzen USM und können deshalb mit keinem anderen USM-Abschnitt verwechselt werden (vgl. auch Abb. 1).

Auch hinsichtlich der Schwermineral-Assoziation zeigt dieser Abschnitt ein eigenständiges Bild und ist vor allem durch die Abnahme von Epidot und die Zunahme von Zirkon (Mittelwert 52%) gekennzeichnet. Epidot verliert gegen die Basis der Einheit C an Präsenz und verschwindet unterhalb 2170 m vollständig. Die paläogeographische Situation hat sich in diesem Abschnitt nun insofern verändert, als dass der Einfluss der radialen

Schüttung aus Süden (Kronberg-Schüttung) geringer wird. Der Sedimentationsraum wird nun vorwiegend von dem aus Westen geschütteten Detritus der Napf-Schüttung (Epidot, geringer Karbonatgehalt) und der Höhronen-Schüttung (Epidotfrei ab 2170 m, erhöhter Apatit- u. Zirkongehalt, mässiger Karbonatanteil) beliefert. Die auffallend karbonatarme Einheit C bildet den Hauptabschnitt der <Granitischen Molasse>.

3.5.4 USM II, ca. 2270 m – ca. 2520 m, Einheit D

SM-Formel: G, ZAr

**Kalzimetrie: C = 18%, D = 7%, C* = 25%,
C/D = 2.6**

Dieser Abschnitt ist gekennzeichnet durch einen, gegenüber dem Hangenden leicht erhöhten Gesamtkarbonat- und Kalzitgehalt (vgl. Abb. 5). Das C/D-Verhältnis liegt signifikant bei 2.6 (zuvor 1.7). Bei den Schwermineralen dominieren Granat, Zirkon und Apatit. Epidot ist nicht mehr präsent. Dieses sedimentpetrographische Bild passt zu demjenigen der tangential aus Westen hergeleiteten aquitanen Höhronen-Schüttung (u.a. FÜCHTBAUER 1964; SCHLANKE 1974, in HANTKE et al. 2009 und in LÖPFE et al. 2012).

3.5.5 USM I, ca. 2520 m – ca. 3170 m, Einheit E

SM-Formel: g, ZAs*rt

**Kalzimetrie: C = 34%, D = 15%, C* = 49%,
C/D = 2.3**

Mit scharfer Grenze ändert sich ab 2520 m das sedimentpetrographische Bild. Wie der Verlauf der Karbonatkurven eindrücklich zeigt, ist dieser Abschnitt durch einen hohen Karbonatgehalt gekennzeichnet und kann zweifellos der <Karbonatreichen Molasse> (u.a. MÜLLER 1971; FREI 1979; SCHLANKE 1974) zugeordnet werden.

Die Eigenständigkeit des vorliegenden Abschnitts ist auch in der Schwermineralzusam-

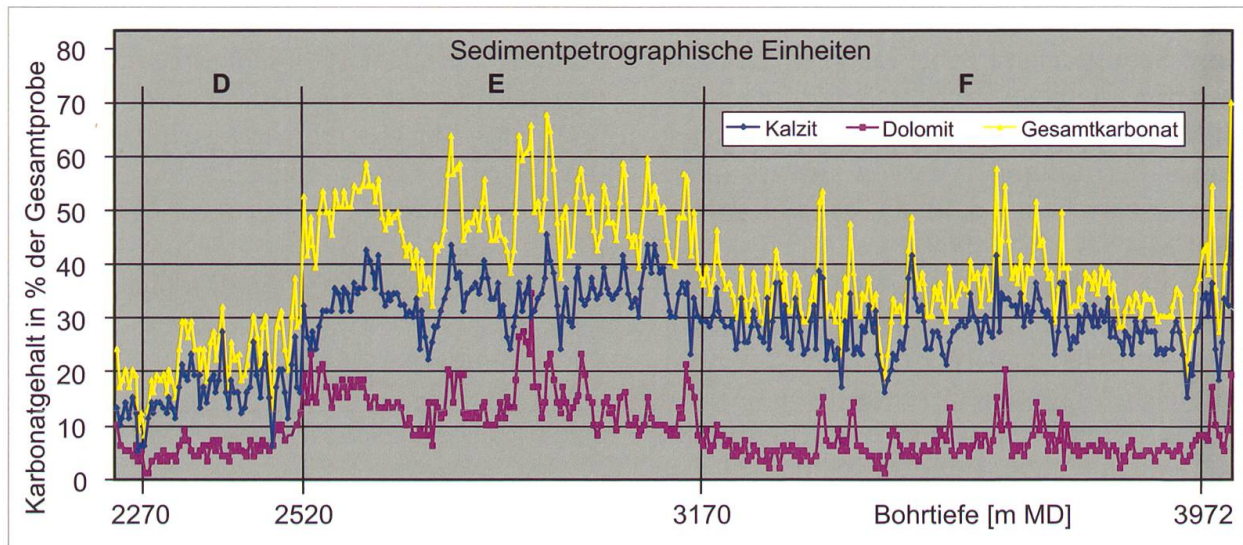


Abbildung 5:

Die Kalzimetrie-Kurven gliedern die USM I in die Einheiten E und F. Der unregelmässige Verlauf der Karbonat-Werte in Einheit E ist, neben synsedimentären Vorgängen, vermutlich auch auf tektonische Einflüsse in der Dreieckszone zurückzuführen (vergl. Abb. 7). Der Kurven-Verlauf in Einheit F entspricht den ruhigen Sedimentationsbedingungen der Unteren Bunten Molasse.

mensetzung erkennbar. Als Hauptgemengteil dominiert Zirkon (61%) vor relativ niedrigen Granat- und Apatit-Werten. Epidot kann nicht nachgewiesen werden. Bemerkenswert ist das erstmalige Auftreten von Spinell. Zusammen mit den Nebengemengteilen Rutil und Turmalin spricht die vorliegende Schwermineral-Assoziation ebenfalls für eine Zuordnung zur chattischen «Karbonatreichen Molasse». Letztere stammt aus dem proximalen Bereich der Speer-Schüttung, tangentielle Interferenzen aus dem gleichaltrigen Rigi-Schuttfächer sind jedoch nicht auszuschliessen (relativ niedrige Granat- und Staurolith-Werte). Gleichzeitig mit Beginn dieses Abschnittes ist eine markante Zunahme von Kluftkalzit zu vermerken, was vermutlich auf signifikante tektonische Deformation schliessen lässt (Randunterschiebung, Dreieckszone, s. Kap. 5).

Zu erwähnen ist, dass von ca. 2520 m bis ca. 2700 m untergeordnet von «Kalksandsteinen mit deutlichem Feldspatgehalt» und «granitischem» Sandstein berichtet wird (eigene Beobachtungen, interne Notizen des Sampling Teams).

Diese Gegebenheiten erinnern stark an die «pseudogranitische Molasse» (spätes Chattien, USM I) der Grindelegg-Schüttung (u.a. KOPP 1937; HABICHT 1945; SCHLANKE 1974–2011; LÖPFE et al. 2012), die als Übergang von der «Karbonatreichen Molasse» zur «Granitischen Molasse» oft Merkmale beider Schüttungen in sich vereinigt. HABICHT (1945) erwähnt im Bereich der Randunterschiebung (Oberflächenauflüsse) und im Rickentunnel (SBB-Verbindung Wattwil-Kaltbrunn) ebenfalls «Kalksandsteine, die mit unter rote Feldspatkörnchen führen».

Da die Bohrung GT-1 wie auch der Rickentunnel (ca. 23 km westlich von St. Gallen, s. KOPP 1937; HABICHT 1945; SCHUPPLI 1952; LÖPFE et al. 2012) sowohl den aufgerichteten Südrand der mittelländischen Molasse, die Randunterschiebung und Teile der Dreieckszone durchfährt, wird eine detaillierte sedimentpetrographische und tektonische Korrelation beider Aufschlüsse einer separaten Publikation vorbehalten bleiben. Vorweggenommen sei hier die Tatsache, dass sich die sedimentpetrographischen Profile beider Aufschlüsse sehr gut korrelieren las-

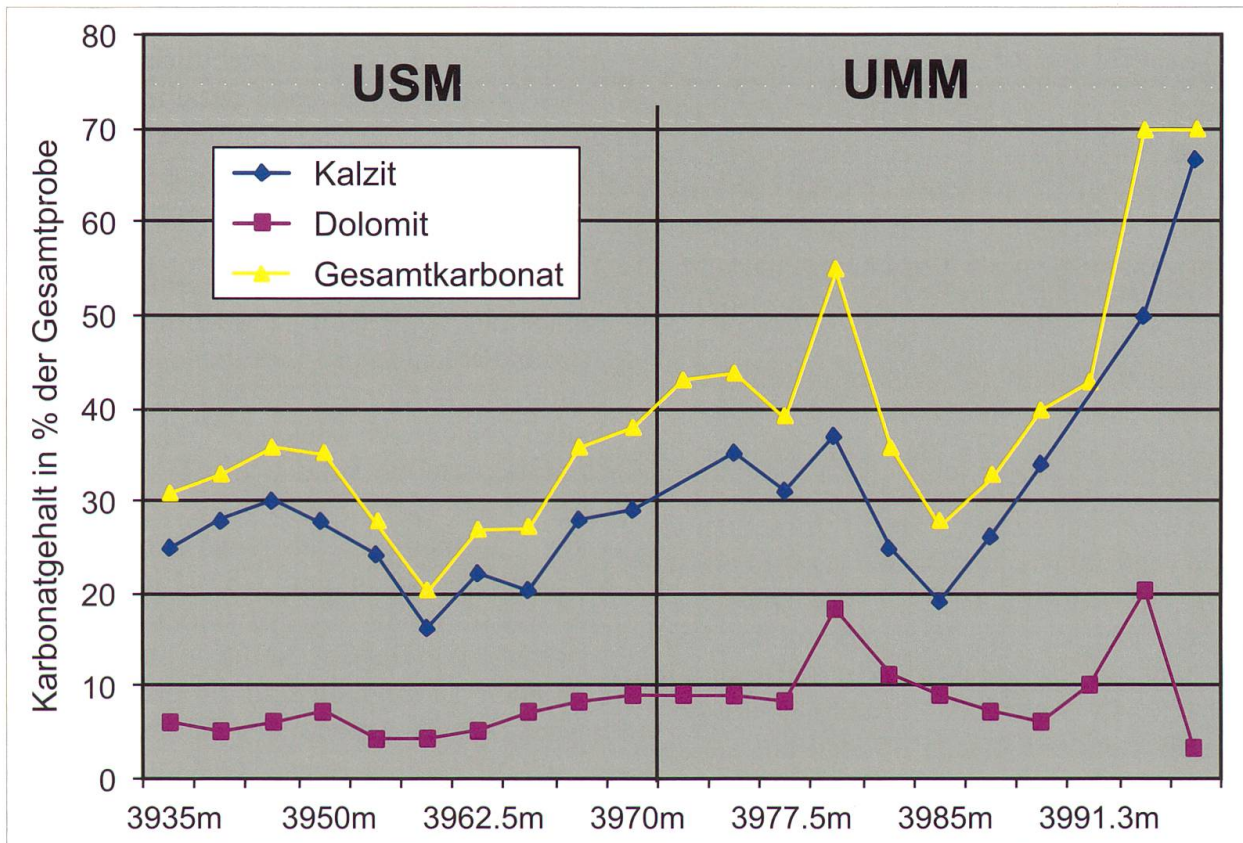


Abbildung 6:

Die Grenze zwischen der basalen USM (Untere Bunte Molasse) und der Unteren Meeressmolasse wird durch die Karbonat-Kurven nicht besonders hervorgehoben. Dasselbe gilt – ganz im Gegensatz zum markanten Farbwechsel – auch hinsichtlich der Schwermineral-Assoziationen (vgl. Abb. 3).

sen. Insbesondere die Randunterschubung sowie der ‹Karbonatsprung› (Beginn der Einheit E in GT-1) sind auch im Tunnelprofil sedimentpetrographisch präzise belegt.

3.5.6 USM I, ca. 3170 m – ca. 3972 m, Einheit F

SM-Formel: g, Z A S* r t

Kalzimetrie: C = 29%, D = 7%, C* = 36%,
C/D = 4.1

Im Vergleich zur hangenden Einheit E weist der tiefste Abschnitt der USM deutlich niedrigere Karbonatwerte auf. Stratigraphisch relevant ist vor allem der tiefe Dolomitanteil und der hohe Quotient Kalzit/Dolomit (4.1 gegenüber 2.2 in Abschnitt E). Die Schwermineral-Vergesellschaftung gleicht derjenigen

von Einheit E. Charakteristisch ist wiederum die Präsenz von Spinell, Rutil und Turmalin, wobei letzterer etwas erhöhte Prozentwerte aufweist. Das gesamte sedimentpetrographische Bild sowie die violett-rote Farbe des mergeldominierten Abschnittes spricht für die Zuordnung der Einheit F zur Unteren Bunten Molasse der Speer-Schüttung (Chattien). Aufgrund der niedrigen Stauroolith-Werte ist eine Beimischung von tangential aus Westen geschüttetem Rigi-Material (Molasse rouge) wahrscheinlich. Dies um so mehr, als in der ca. 30 km weiter östlich gelegenen Bohrung Sulzberg 1 (1985) in der ältesten Molasse ebenfalls Material aus der tangentialen Rigi-Schüttung nachgewiesen werden konnte (SCHLANKE 1984, interner Bericht, PREUSSAG Erdöl und Erdgas).

3.6 Untere Meeresmolasse, ca. 3972 m – 3992 m

Der Übergang von der Unteren Bunten Molasse (Einheit F) zur Unteren Meeresmolasse ist durch einen markanten, scharfen Farbwechsel von violett-rot zu hell- bis dunkelgrau gekennzeichnet. Ein analog markanter Wechsel ist hinsichtlich der Karbonat- und Schwermineral-Führung nicht zu beobachten. Zwar könnte der mässig erhöhte Kalzit- und Dolomitgehalt in der UMM evtl. von diagnostischer Bedeutung sein. Mit der im Vergleich zum Hangenden (162) geringen Probenzahl (10) kann dieser Trend statistisch nicht erhärtet werden. Dasselbe gilt in besonderem Masse auch für die 3 UMM-Schwermineralproben, die eine Verringerung des Apatit- und Spinell-Anteils sowie eine Erhöhung der Granat-, Rutil- und Turmalin-Werte aufweisen. Bereits FREI (1979) hat auf die sedimentpetrographische Ähnlichkeit der Unteren Bunten Molasse und der Unteren Meeresmolasse hingewiesen.

4 Stratonomische Aspekte der USM in der Bohrung GT-1

Wie bereits erwähnt, ist eine Gliederung der 3200 m mächtigen USM (along hole) allein aufgrund lithologischer Schichtbeschreibungen (Samplerlog) schwierig. Dennoch ist es wichtig, im Bohrprofil grössere lithologisch zusammenhängende Zonen zu finden, die in allfälligen Nachbarbohrungen und grösseren Aufschlüssen wieder erkannt, korreliert und für die Rekonstruktion der paläogeographischen Situation verwendet werden können.

Die Grunddaten für die stratonomische Auswertung basieren auf einem speziellen «Stratonomie-Log», das jede Schicht im Bohrprofil vom Hangenden zum Liegenden einer, durch die dominierende Korngrösse definierten Lithofazies (Konglomerat, Sandstein, Siltstein-Mergel/Tonstein) zuordnet. Aus der weiteren Bearbeitung ergeben sich pro Bohrstrecke und Korngrössenklasse deren prozen-

tuale Mächtigkeiten, Anzahl der Schichten, mittlere und maximale Schichtdicken etc.

Es ist vorgesehen, eine detaillierte geologische Analyse der stratonomischen Daten (numerische Parameter) entlang der gesamten Molasse-Strecke in einem separaten Bericht zu publizieren.

Vorweggenommen sei in diesem Kapitel lediglich der Vergleich von Mächtigkeiten und Anzahl Schichten pro Lithofazies in den kalzimetrisch definierten USM-Einheiten A-F. Dabei zeigen sich folgende Gegebenheiten (s. numerische Parameter, Tab. 1)

- Die markanten kalzimetrischen Unterschiede zwischen den USM-Einheiten A, B und C (768–2270 m) finden in stratonomischer Hinsicht keine Entsprechung. In allen 3 Einheiten sind die prozentualen Mächtigkeits-Anteile der Sandstein- und Mergel-Fraktion sehr konstant. Letztere dominiert mit 68%–70% über Sandstein (27%–33%). Ebenfalls keine grossen Differenzen sind bei der prozentualen Anzahl der Schichten auszumachen (Mergelschichten: 56%–61%, Sandsteinschichten: 39%–44%). Das stratonomische Bild entspricht einem Ablagerungsraum, der bezüglich des Schuttfächerzentrums eine distale Lage einnimmt. Das bedeutet, dass die Sedimente schon einen langen Transportweg hinter sich haben und unter relativ ruhigen Sedimentationsbedingungen abgelagert wurden. Lediglich die Konglomeratanteile (4%) in Einheit A sprechen für eine gelegentlich erhöhte Transportenergie.
- Etwas kontrastreicher zeigt sich der Übergang von der Einheit C (Mergelanteil 68%, Sandstein 32%) zur Einheit D (Basisbereich der USM II): Mergelanteil 57%, Sandstein 43%.
- Die Einheit E (USM I) ist gegenüber dem Hangenden und Liegenden durch ein sehr eigenständiges kalzistratigraphisches und schwermineralogisches Bild geprägt (vgl. Kap. 3.5.5). Hinsichtlich der numerischen Parameter liegen die prozentualen Mergelmächtigkeiten bei 64%, Sandstein erreicht

Kalimetrie					Numerischer Parameter				Stratigraphie			
	C	D	C+D	C/D		Mächtigkeit in %	Anzahl Schichten in %	Kgl.	Sdst.	Si-Tst.		
OSM (Bodensee/Hörnli-Schüttung)	24	4	28	6	30–236m			7	8	86	Basisschichten der OSM	"Tortonien"
								6	18	77		
OMM (Hörnli-/Bodensee-Schüttung)	19	13	32	1.5	240–768m			22	39	39	St. Gallen-Formation Luzern-Formation	"Helvetien" "Burdigalien"
USM II, Einheit A (Hörnli-Schüttung) Schwermin. g, EZAs	26	21	47	1.2	768–1135m			4	27	69	"Oberaquitane Mergelzone"	
								4	41	56		
USM II, Einheit B (Kronberg-/Napf-Schüttung) Schwermin. g, EZAs	20	13	33	1.5	1135–1663m			0	30	70	"Granitische Molasse"	Aquitanian
								0	44	56		
USM II, Einheit C (Höhronen-/Napf-Schüttung) Schwermin. G, ZEA	12	7	19	1.7	1663–2272m			0	33	68		
USM II u. I, Einheit D (Höhronen-Schüttung) Schwermin. G, ZAr	18	7	25	2.6	2272–2526m			0	43	57	"Karbonatreiche Molasse" (Typus Ebnater.Sdst.)	
								0	46	54		
USM I, Einheit E (Speer-Schüttung) Schwermin. g, Zs*rt	35	15	50	2.3	2526–3165m			0	36	64	Untere bunte Molasse (Aequival. Molasse rouge)	Chatian
								0	43	57		
USM I, Einheit F (Speer-Schüttung) Schwermin. G, Zs*rt	29	7	36	4.1	3165–3992m			0	21	79	Horwer Sandstein + Grisiger Mergel	Rupelian
								0	40	60		
Untere Meeresmolasse	30	10	40	3	3972–3992m			0	50	50		
								0	50	50		

Tabelle 1: Zusammenfassende Tabelle der lithostratigrafischen, sedimentpetrografischen und lithologisch-stratonomischen Parameter der Molasseabfolge in St.Gallen GT-1. In der Kolonne <Numerischer Parameter> werden Silt-Mengel-Tonstein und Kohle unter dem Begriff <Mergel> zusammengefasst.

lediglich 36%. In Abbildung 1 ist deutlich zu erkennen, dass im oberen Teil der Einheit E von 2520 m bis 2722 m der Mergelanteil total dominiert und vermutlich den letzten namhaften Einfluss der Unteren Bunt Molasse repräsentiert. Im unteren Teil (2722 m–3170 m) sind die Mergel und Sandsteine praktisch gleich stark vertreten. In wie weit der stark erhöhte Sandsteinanteil mit den in süddeutschen Bohrungen beschriebenen <chattischen Hauptsanden> korreliert werden kann, bleibt vorderhand offen.

In Einheit F (3175 m–3971 m) belegen sowohl die sedimentpetrographischen als auch die numerischen Parameter die Eigenständigkeit des tiefsten Abschnittes der

USM I. Die Dominanz der Mergelanteile (80%) passt ins überregionale Bild der Unteren Bunt Molasse (Speer-Schuttfächer) und deren gleichaltriges Äquivalent, Molasse rouge (Rigi-Schuttfächer). Hierbei ist anzufügen, dass die UBM/MR bereits im zentrumsnahen, d.h. südlicheren Schuttfächerbereich a priori feindritisch ausgebildet ist (s. Oberflächenaufschlüsse in der subalpinen Molasse, Mergel-Fazies in subalpinen Molasse-Bohrungen wie z.B. Entlebuch 1, Thun 1 etc.).

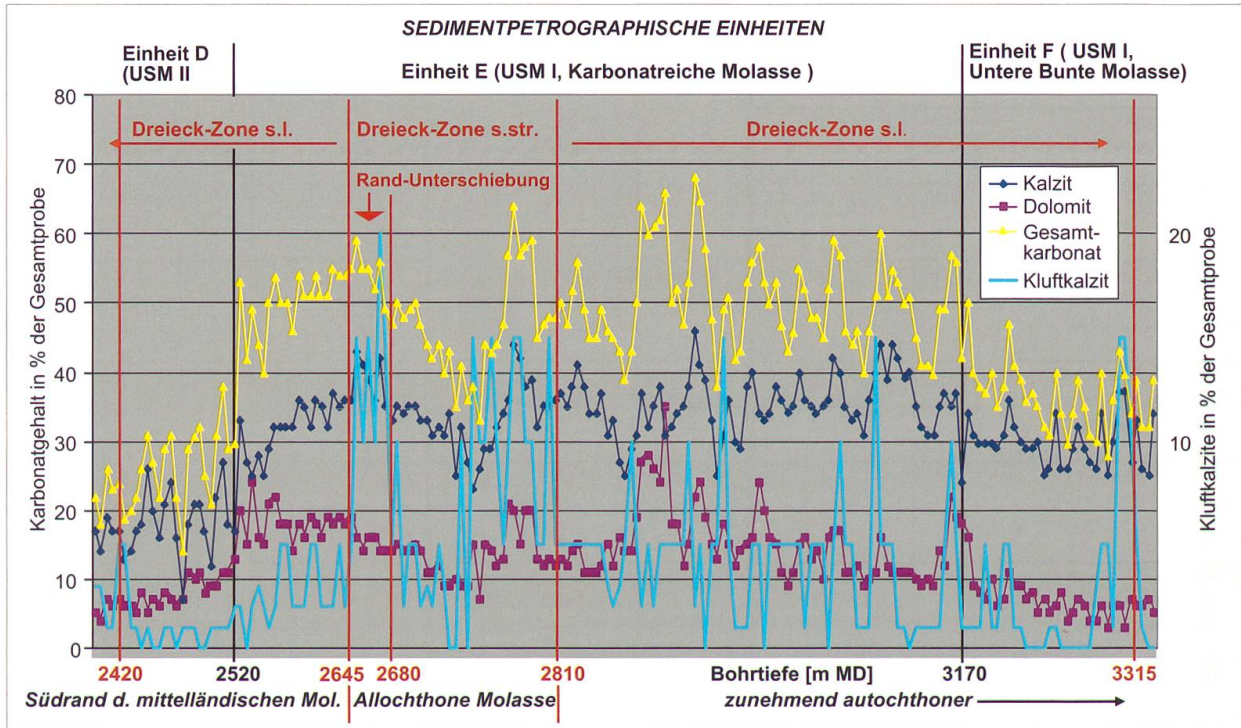


Abbildung 7:

In dieser Abbildung sind die prozentualen Anteile an Kluftkalzit (blaue Kurve) in 3-facher Überhöhung dargestellt. Der Beginn der Dreieckszone s.str. wird mit dem hohen Gehalt an Kluftkalziten ab 2645 m begründet. In diesen Bereich fällt auch die Zone der Randunterschiebung. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass der «Karbonatsprung» der die Einheit D (USM II) von der Einheit E (USM I) trennt, noch vor der Randunterschiebung stattfindet. Ab 3315 m verringert sich der Anteil an Kluftkalzit deutlich, was als allmähliche «Ausglättung» der Tektonik hin zur konkordanten Schichtlagerung (Autochthone Molasse) zu deuten ist.

5 Interpretation der Tektonik aufgrund sedimentpetrographischer Daten (Abb. 7 u. 8)

5.1 Aufgerichteter Südrand der Mittelländischen Molasse (autochthone Molasse) und obere Dreieckszone s.l. (30 m – 2645 m)

In der geologischen Bohrprognose (NAEF 2012) wurde angenommen, dass bis in den Teufenbereich von ca. 2500 m die nach N einfallende, normalstratigraphische Abfolge von OSM, OMM und USM II den aufgerichteten Südrand der Mittelländischen Molasse bildet; dies ergab sich auch aus der Auswertung der 3D-Seismik-Daten (HEUBERGER & KUHN 2013). Diese Prognose wird im Wesentlichen durch die Cutting-Beschrei-

bung und die sedimentpetrographischen Daten bestätigt.

Etwas überraschend ist die Erkenntnis, dass der zwischen ca. 2520 m bis ca. 2645 m auftretende, oberste Teil der USM I (Einheit E, mit hohem Karbonatanteil) ebenfalls oberhalb der Dreieckszone s.str. liegt und damit zum aufgerichteten Südrand der mittelländischen Molasse, d.h. zum oberen Autochthon zu zählen ist.

Da bereits ab ca. 2420 m bis 2640 m Kluftkalzite in geringer Prozentzahl auftreten (1–5%) und somit auf erste tektonische Überprägungen dieser Zone schließen lassen, wird dieser Bereich als obere Dreieckszone s.l. bezeichnet.

5.2 Dreieckzone s.str.**(ca. 2645 m – ca. 2810 m)**

Der Abschnitt zwischen ca. 2645 m und ca. 2810 m ist durch eine hohe Präsenz von Kluftkalzit gekennzeichnet und wird deshalb als Teil der Dreieckzone s. str. definiert. Die aus der Cutting-Beschreibung resultierenden maximalen Anteile von bis zu 20% Kluftkalzit dürften im Anstehenden vermutlich höher ausfallen, da ein gewisser Prozentsatz des weichen Kluftkalzits durch den PDC-Meißel vor Ort (Bohrlochsohle und Auftrieb) zu Pulver zerrieben wurde und somit in der Zählung nicht adäquat zur Geltung kommt.

Die Randunterschiebung, von den meisten Autoren (u.a. HABICHT 1945, HOFMANN 1958, LÖPFE et al. 2012) als tektonisches Element unmittelbar im Liegenden der autochthonen Molasse beschrieben, wird in der Bohrung GT-1 als tektonische Zone mit hohem Kluftkalzit-Anteil in den Topbereich der Dreieckszone s.str. (ca. 2645 m–2680 m) gelegt. Lithologisch und sedimentpetrographisch besteht die Dreieckzone s.str. im wesentlichen aus Kalksandsteinen und Mergeln der USM I (Einheit E, «Karbonatreiche Molasse»). Wie die Zone unmittelbar im Hangenden der Randunterschiebung ist dieser Abschnitt ebenfalls durch hohen Karbonatgehalt, erhöhte Spinell- und Rutil-Führung charakterisiert.

Der unruhige Verlauf der Karbonatkurven (s. Abb. 7) sowie der hohe Anteil an Kluftkalzit ist höchst wahrscheinlich auf eine stärkere tektonische Beeinflussung zurück zu führen (u.a. Scherflächen, Klüfte, kleinere Überschiebungen, Schichtrepetitionen). Grössere Verschuppungen wie in der subalpinen Molasse s.str. und in den Bohrungen Entlebuch 1 und Sulzberg 1 können aufgrund der lithologischen und sedimentpetrographischen Daten nicht nachgewiesen werden.

5.3 Untere Dreieckzone s.l.**(ca. 2810 m – ca. 3315 m)**

Obwohl das Auftreten von Kluftkalzit in dieser Zone geringer ist als im Hangenden, wird dieser Abschnitt dennoch zur Dreieckzone s.l. gezählt. Insbesondere auch deshalb, weil im Basisbereich von ca. 3285 m – 3315 m nochmals viel Kluftkalzit auftritt (10 – 15%, s. Abb. 1 und 7). Im oberen Teil der Zone (ca. 2810 m – 3170 m) dominieren noch Kalksandsteine und Mergel der USM I (Einheit E). Unterhalb 3170 m bis zur Basis der USM bei ca. 3992 m besteht die Abfolge aus feinkörnigen Sedimenten der Unteren Bunten Molasse (USM I, Einheit F).

Die so mittels sedimentpetrographischer Daten und Kluftkalzit-Analysen interpretierte Dreieckszone weist entlang des Bohrpfad es eine Mächtigkeit von ca. 895 m auf, wobei die tektonische Kernzone (inkl. Rand-Unterschiebung) auf ca. 165 m durchfahren wurde.

Zu erwähnen ist die Tatsache, dass während der Bohrphase in der gesamten Dreieckszone keine erhöhten Gas- und Druckwerte registriert wurden.

5.4 Autochthone Molasse unterhalb der Dreieckzone s.l. (ca. 3315 m – 3992 m)

Die Abfolge unterhalb 3315 m führt nur noch wenige kleine Zonen mit Kluftkalzit (<5%). Aufgrund des Prognoseprofils (NEAF 2012) war zu erwarten, dass sich die Dreieckzone nicht schlagartig gegen das Liegende abgrenzt, sondern sich allmählich in die autochthone Molasse hin «ausglättet». Der unterste Teil der USM besteht vorwiegend aus violett-rotbraunen Silten und Mergeln der Unteren Bunten Molasse (USM I, Einheit F, Äquivalent der Molasse Rouge).

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass die Untere Meeresmolasse, als tiefster Teil der autochthonen Molasse, im Bereich der tonreichen Grisiger Mergel zwischen ca. 3987.5 m und 3990 m eine markante Zone mit Kluftkalzit (15%) aufweist. In wieweit letztere einer subhorizontalen Basisabscherung oder

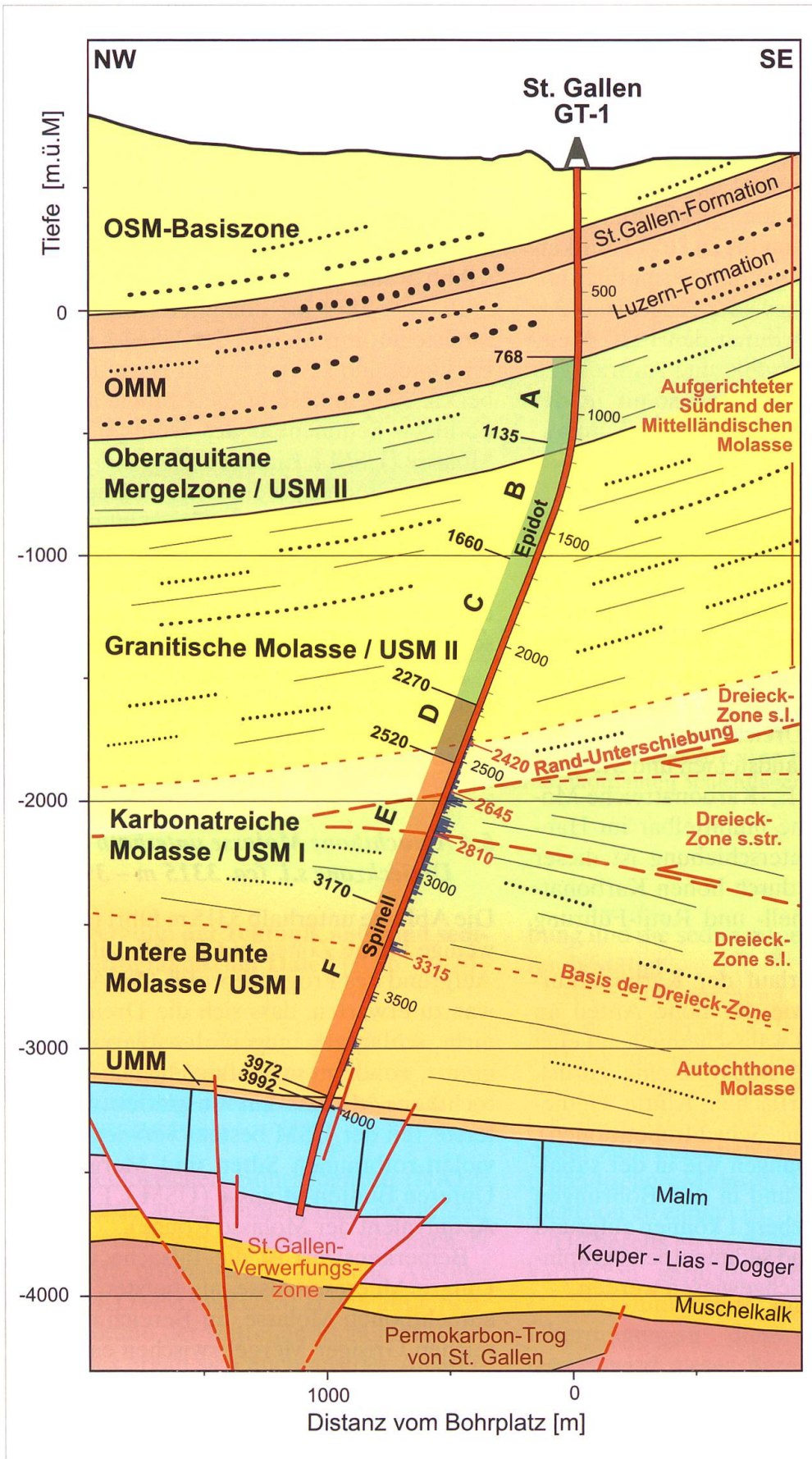


Abbildung 8:
 Geologischer NW-SE-Profileschnitt entlang der Bohrtrajektorie mit Darstellung der sedimentpetrographischen Ergebnisse. Erläuterungen siehe Text.

einer lokalen Klüftung entspricht, kann ohne strukturgeologische Logs nicht entschieden werden.

6 Zusammenfassung der wichtigsten Resultate

- Das gesamte Molasseprofil weist aufgrund der sedimentpetrographischen Daten im Grossen und Ganzen eine normalstratigraphische Abfolge auf.
- Mit Hilfe der Schwermineral-Analyse und insbesondere mit der Kalzimetrie lässt sich die lithologisch uniforme Molasseabfolge in klar definierte Einheiten gliedern.
- Es wurde versucht, die Intensität der tektonischen Überprägung im Bereich der Dreieckzone anhand der prozentualen Anteile an Kluftkalzit in den Cutting-Proben abzuschätzen. Die daraus resultierende <tektonische Gliederung> ist zwar plausibel, kann aber mangels strukturgeologischer Logs nicht genauer verifiziert werden. Insbesondere fehlen Angaben über die räumliche Orientierung der Schichten in der Dreieckzone.
- Die Mächtigkeit der gesamten Dreieckzone beträgt ca. 900 m, die Dreieckzone s.str. (tektonische <Kernzone>) wird anhand der maximalen Kluftkalzite auf ca. 170 m geschätzt.
- Das Bohrprofil durchörtert den aufgerichteten Südrand der mittelländischen Molasse, die Zone der Randunterschiebung sowie die nördlichen-mittleren Partien der Dreieckzone. Südlichere tektonische Elemente, wie z.B. die Hauptaufschiebung der subalpinen Molasse s.str. wurden nicht angetroffen (s. Abb. 8)
- Die <Tektonik> findet vor allem innerhalb der jüngeren USM I (Karbonatreiche Molasse) statt, wobei die stratigraphische Abfolge aufgrund der sedimentpetrographischen Daten nicht wesentlich gestört zu sein scheint.
- Abschliessend ist festzuhalten, dass die Bohrung GT-1 hinsichtlich der Molasse-Tektonik an einer <einmaligen> Schlüsselstelle abgeteuft wurde; nämlich im Über-

gangsbereich von der mittelländischen zur subalpinen Molasse. Auch hinsichtlich der Molassestratigraphie wurde eine praktisch zusammenhängende, annähernd 4 km mächtige Abfolge von der OSM-Basiszone bis zur Basis der Unteren Meeresmolasse erschlossen und beschrieben.

Literaturverzeichnis

- BÜCHI, U. P., WIENER, G. & HOFMANN, F. (1965): Neue Erkenntnisse im Molassebecken auf Grund von Erdöltiefbohrungen in der Zentral- und Ostschweiz. – *Eclogae geol. Helv.*, 58/1: 87–108.
- BÜCHI, U. P. (1955): Zur Geologie der Oberen Meeresmolasse von St. Gallen. – *Eclogae geol. Helv.* 48/2: 257–321.
- BÜCHI, U. P. & SCHLANKE, S. (1977): Zur Paläogeographie der Schweizerischen Molasse. – *Erdöl, Erdgas-Z.* 93: 57–69, (Sonderausg. 1977).
- EUGSTER, H., FRÖHLICHER, H. & SAXER, F. (1960): Erläuterungen zum Blatt Nr. 23: St. Gallen – Appenzell des Geologischen Atlas der Schweiz 1:25'000. – *Schweiz. geol. Komm.*
- FREI, H. P. (1979): Stratigraphische Untersuchungen in der subalpinen Molasse der Nordschweiz, zwischen Wäggitale Aa und Urnäsch. – *Diss. Univ. Zürich. u. Mitt. geol. Inst. ETH-Zürich u. Univ. Zürich N.F.* 233.
- FÜCHTBAUER, H. (1958): Die Schüttungen im Chatt und Aquitan der deutschen Alpenvorland-Molasse. – *Eclogae geol. Helv.* 51/3: 928–941.
- FÜCHTBAUER, H. (1964): Sedimentpetrographische Untersuchungen in der älteren Molasse nördlich der Alpen. – *Eclogae geol. Helv.* 57/1.
- HABICHT, J. K. A. (1987): Schweizerisches Mittelland (Molasse). *Internationales stratigraphisches Lexikon Bd. 1/7.* – *Schweiz. geol. Komm. und Landeshydr. u. -Geologie.*
- HABICHT, J. K. A. (1945): Geologische Untersuchungen im südlichen sanktgallisch-appenzellischen Molassegebiet. – *Beitr. geol. Karte Schweiz, N.F.* 83.
- HANTKE, R., WYSSLING, G. & SCHLANKE, S. (2009): Geologischer Atlas der Schweiz: Blatt 1132 Einsiedeln. – *Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Erläuterungen 129, Swisstopo, Bern.*
- HOFMANN, F. (1957): Untersuchungen in der mittelländischen und subalpinen Molasse der Ostschweiz. – *Eclogae geol. Helv.* 50/2: 289–322.
- HOFMANN, F. (1960): Materialherkunft, Transport und Sedimentation im schweizerischen Molassebecken. – *Jb. st. gall. natw. Ges.* 76: 1–28
- HOFMANN, F. (1968): Zur Sedimentpetrographie der Molasse in den Bohrungen Pfaffnau Süd 1, 2 & 5, Boswil 1 und Hünenberg 1. – *Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing.*, 35/87: 35–42.
- KOPP, J. (1937): Petrolgeologische Untersuchungen in der subalpinen Molasse zwischen Linth und Thur mit spezieller Berücksichtigung der Petrobohrung von Tuggen. – *PEK-Bericht, Petroleumexpertenkommission.*
- LEMCKE, K., BÜCHI, U. P. & WIENER, G. (1968): Einige Ergebnisse der Erdölexploration auf die mittelländische Molasse der Zentralschweiz. – *Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing.*, 35/87: 15–34.
- LÖPFE, R., ZAUGG, A. & SCHLANKE, S. (2012): Geologischer Atlas der Schweiz: Blatt 1113 Ricken. – *Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Erläuterungen 142, Swisstopo, Bern*
- MÜLLER, H.-P. (1971): Geologische Untersuchungen in der subalpinen Molasse zwischen Einsiedeln und oberem Zürichsee (Kt. Schwyz). – *Vj-schr. natf. Ges. Zürich* 116/1: 1–153.
- NAEF, H. (2012): Geologische Bohrprognose GT-1. – *Sankt Galler Stadtwerke, Bericht vom 14.7.2012, geosfer AG, St. Gallen.*
- NAEF, H. (2015): Die Geothermie-Tiefbohrung St. Gallen GT-1. – *Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft Band 92.*
- SCHLANKE, S. (1974): Geologie der subalpinen Molasse zwischen Biberbrugg SZ, Hütten ZH und Aegerisee ZG. – *Eclogae geol. Helv.* 67/2: 243–331.
- SCHLANKE, S., HAUBER, L. & BÜCHI, U. P. (1978): Lithostratigraphie und Sedimentpetrographie der Molasse in den Bohrungen Tschugg 1 und Ruppoldsried 1. – *Eclogae geol. Helv.* 71/2: 409–425.
- SCHLUNEGGER, F. (1999): Controls of surface erosion on the evolution of the Alps: constraints from the stratigraphies of the adjacent foreland basins. – *Int. Journ. Earth Sciences*, 88/2: 285–304.
- SCHUPPLI, H.-M. (1952): Oelgeologische Probleme der subalpinen Molasse der Schweiz. In: *Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz.* – *Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser.*, 26/4: 1–31.
- ZAUGG, A., & LÖPFE, R. (2011): Geologischer Atlas der Schweiz: Blatt 1114 Nesslau. – *Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Erläuterungen 141, Swisstopo, Bern*