

79 Seiten, 45 Abbildungen, 4 Tabellen, 1 Beilage



Monika Hölzel

Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades „Magistra der Naturwissenschaften“
an der Fakultät für Naturwissenschaften und Mathematik der Universität Wien

Wien, im Mai 2003

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	1
Abstract	2
Dank	4
1 Einleitung	5
1.1 Ziele der Diplomarbeit.....	5
1.2 Frühere Arbeiten im Fohnsdorfer Becken	5
1.3 Methoden	5
1.3.1 Vermessung.....	6
1.3.2 Profilaufnahme	6
1.3.3 Paläomagnetik	6
1.3.4 Sedimentologische Analysen.....	7
2 Das Fohnsdorfer Becken	8
2.1 Entstehung und Entwicklung	8
2.2 Geologischer Rahmen.....	9
2.3 Stratigraphie des Fohnsdorfer Beckens	10
2.3.1 Fohnsdorf-Formation.....	10
2.3.2 Ingering-Formation	11
2.3.3 Apfelberg-Formation.....	11
2.4 Chronostratigraphie, Sedimentation und Tektonik.....	11
3 Die Ingering-Formation.....	13
3.1 Aufschlüsse.....	13
3.2 Typusprofil Ingering	15
3.2.1 Übersicht über Lithofaziestypen.....	17
3.3 Beschreibung und Interpretation ausgewählter Teilprofile und Faziesbereiche.....	20
3.3.1 Ingering 1 - Pelite und Congerienbreccien	20
3.3.2 Ingering 4 - Übergang zu sandiger Sedimentation	28

3.3.3	Ingering 5 - Schrägschichtung.....	29
3.3.4	Baugrube Spielberg	31
3.3.5	Sillweg.....	31
3.3.6	Bohrung Gabelhofen	32
3.3.7	Bohrung Weißkirchen	32
3.4	Korngrößenuntersuchungen	33
3.4.1	Klassifikation der Lithologien im ternären Shepard-Diagramm	33
3.4.2	Momentstatistik	34
3.4.3	CM-Diagramm	36
3.5	Schwermineralanalysen	38
3.5.1	Ergebnisse	38
3.5.2	Interpretation	39
4	Tektonik und Deformation.....	40
4.1	Lagerungsverhältnisse.....	40
4.2	Spröde Strukturen	40
4.3	Soft Sediment - Strukturen	40
4.3.1	Boudinagen – Pinch and Swell Structures.....	40
4.3.2	Falten und Slumps	41
4.3.3	Rotierte Klasten.....	42
4.4	Modellierung und Quantifizierung der Deformation.....	43
4.4.1	Das Finite Element Programm BASIL.....	43
4.4.2	Anwendung von BASIL	44
4.4.3	Ergebnis der Modellierung.....	46
4.4.4	Vergleich und Interpretation der Modellierung.....	48
5	Paläomagnetische Messungen.....	51
5.1	Abmagnetisierung im Wechselfeld	51
5.2	AMS (Anisotropie der magnetischen Suszeptibilität).....	51
5.3	Ergebnisse.....	51
6	Entwicklung der Ingering-Formation	53

7 StratDraw – Programm zur graphischen Darstellung stratigraphischer Profile mit CorelDRAW™	58
7.1 Einleitung	58
7.2 Arbeitsprinzip	58
7.3 Systemvoraussetzungen	59
7.4 Funktion und Bedienung	60
7.4.1 Dateneingabe	60
7.4.2 Datentabelle	61
7.4.3 Optionen	61
7.4.4 Ausführen des Zeichenvorganges (Draw Section)	62
7.4.5 Editieren und Speichern	62
7.5 Zusammenfassung	63
Literaturverzeichnis	64
Internet Referenzen	67
Anhang 1 – Kornsummenkurven	68
Anhang 2 – Schwermineralanalyse	72
Anhang 3 – Koordinaten der Vermessung	74
Anhang 4 – StratDraw – Quellcode	76

Abbildungen

Abb. 2-1 Lage des Fohnsdorfer Beckens in den Ostalpen.	8
Abb. 2-2 Stratigraphische Übersicht des Fohnsdorfer Beckens	10
Abb. 3-1 Topographische und geologische Karte mit Aufschlüssen und Bohrungen.....	14
Abb. 3-2 Ingeringbach-Übersichtskarte der Aufschlüsse.....	16
Abb. 3-3 Übersicht des Ingering-Typusprofils.....	17
Abb. 3-4 Congerienlage Nr. 105, 2,5-fache Vergrößerung bei gekreuzten Polarisatoren.....	18
Abb. 3-5 Gastropode in Congerienlage Nr. 105, 10-fache Vergrößerung.....	18
Abb. 3-6 Pelite im Liegenden von Aufschluss Ingering 1.	20
Abb. 3-7 Aufschluss Ingering 1: Wechsellagerung von Congerienbreccie und Pelitlagen.....	21
Abb. 3-8 Aufschlußskizze Ingering 1.....	21
Abb. 3-9 Einfallen der schräggeschichteten Flächen der zwischengelagerten Sande.	21
Abb. 3-10 Profil des aufgeschlossenen Bereiches von Ingering 1.	22
Abb. 3-11 Braunalgen in Congerenschichten.....	23
Abb. 3-12 Tuffitlage P; 6,5 cm mächtig.....	24
Abb. 3-13 Dünne Congerienlagen Nr. 3a und 11.	24
Abb. 3-14 Aufrechter inkohlter Wurzelstock in Congerienbank Nr. 119	24
Abb. 3-15 Nahaufnahme einer Congerenschicht	24
Abb. 3-16 Normal Grading im hangenden Abschnitt von Congerienlage Nr. 105	24
Abb. 3-17 Verfaltete Congerenschicht.....	24
Abb. 3-18 Charakteristika verschiedener Arten von subaquatischen Debris Flows	27
Abb. 3-19 Profil des aufgeschlossenen Bereiches von Ingering 4.	28
Abb. 3-20 Überblicksfoto des Prallhanges von Aufschluss 4	28
Abb. 3-21 Überblicksfoto von Aufschluss Ingering 5.....	29
Abb. 3-22 Profil des aufgeschlossenen Bereiches, Ingering 5	30
Abb. 3-23 Kornsummenkurve und –verteilung, Ingering 5	30
Abb. 3-24 Profil Baugrube Spielberg.....	31
Abb. 3-25 Foto Baugrube Spielberg.....	31
Abb. 3-26 Klassifikation der Korngrößenuntersuchungen nach SHEPARD.	33
Abb. 3-27 Korrelation von Sortierung und arithmetischem Mittel	35
Abb. 3-28 Korrelation von Sortierung und Schiefe.....	35

Abb. 3-29 Korrelation von Median und Lage der Probepunkte.....	36
Abb. 3-30 Korrelation von arithmetischem Mittel und Lage der Probepunkte.....	36
Abb. 3-31 CM-Diagramm nach PASSEGA.....	37
Abb. 3-32 Schwermineralverteilung, Proben von Aufschluss Ingering 1 und 4.....	39
Abb. 4-1 Einfallen der Schichten	40
Abb. 4-2 Boudinage von Congerienlage Nr. 119.....	41
Abb. 4-3 Verfaltete Congerenschichten.	41
Abb. 4-4 Kohle mit verfaltetem Ton.....	41
Abb. 4-5 Kristallinklast, für Modellierung und Quantifizierung der Deformation herangezogen.	42
Abb. 4-6 Initialstadium – Rechteck 1:2, ohne passive Marker.	45
Abb. 4-7 Ergebnisse der Modellierung bei verschiedenen Deformationsgeometrien.....	47
Abb. 4-8 Deformationsschema der Ingering-Formation	50
Abb. 6-1 Entwicklungsgeschichte der Ingering-Formation	57
Abb. 7-1 Screenshot der Arbeitsoberfläche von StratDraw.	59
Abb. 7-2 Datenblatt für StratDraw.....	61

Tabellen

Tab. 3-1 Auswahl von Bohrungen im Fohnsdorfer Becken vor 1960.....	14
Tab. 3-2 Ergebnisse der Momentstatistik.....	34
Tab. 3-3 Ergebnisse der Schwermineralanalyse, Angaben in Prozent.....	38
Tab. 7-1 Korngrößen-Indizes, basierend auf DIN 4022.....	60

Beilage

Beilage 1 Das Ingering-Typusprofil, Gesamtübersicht im Maßstab 1:50.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Diplomarbeit werden die Ergebnisse sedimentologischer, strukturgeologischer und paläomagnetischer Untersuchungen an der miozänen Ingering-Formation vorgestellt. Diese ist hauptsächlich am Nordrand des steirischen Fohnsdorfer Beckens aufgeschlossen, das mit einer Fläche von 120 km² und einer Tiefe von ca. 2 km das größte intramontane Becken der Ostalpen darstellt. Die Ingering-Formation bildet zusammen mit der unterlagernden Fohnsdorf-Formation und der überlagernden Apfelberg-Formation die neogene Schichtfolge (Ober-Karpatium bis ?Ober-Badenium) des Fohnsdorfer Beckens.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der detaillierten stratigraphischen Aufnahme und analytischen Bearbeitung der Sedimente des Ingering-Typusprofils am Westufer des Ingeringbaches. Durch die Interpretation der gewonnen geologischen Daten können somit die Ablagerungsbedingungen rekonstruiert werden. An sedimentologischen Analysemethoden wurden Korngrößenbestimmungen, Schwermineraluntersuchungen und Schlißbeschreibungen durchgeführt.

Im Typusprofil der bis zu 1800 m mächtigen Ingering-Formation dominieren im Liegenden Pelite und geringmächtige Sand(stein)lagen einer Prodeltafazies. Darüber folgen sandreichere Partien mit Schrägschichtungen der Deltafront, die in quarzreiche Konglomerate und kiesführende Sande übergehen, die charakteristische Ablagerungen der Deltafront bis Deltaplattform darstellen. Die lakustrine *Coarsening-Upward*-Abfolge der Ingering-Formation zeigt im tieferen Abschnitt einen marin-brackischen Einfluss. Die Schichten können somit als ein von Norden nach Süden progradierendes Delta interpretiert werden. Aufgrund des Schwermineralspektrums und der Korngrößenanalyse hat sich gezeigt, dass die Sedimentschüttungen aus dem Gebiet des Wölzer- und Rappolt-Komplexes stammen könnten und kurz transportiert wurden.

Mächtige Congerienbreccien innerhalb der liegenden Partien der Prodeltafazies, die eckige Kristallinklasten beinhalten, werden als subaquatische *Debris Flows* interpretiert. Sie können als kurzzeitige, eventgebundene Ablagerungen gedeutet werden, die die sonst ruhige, kontinuierliche Sedimentation unterbrechen.

Neben den sedimentologischen Feld- und Laborarbeiten wurde aufgrund der Datenmenge von 617 aufgenommenen Schichten ein Computerprogramm namens *StratDraw* entwickelt, das eine rasche und effektive Verarbeitung erlaubt. Es bietet die Möglichkeit, zeitsparend und genau, stratigraphische Profile aus tabellarischen Daten zu erfassen und automatisiert im Graphikprogramm CorelDRAW™ darzustellen. Alle in dieser Arbeit gezeigten Profile wurden mit Hilfe dieser Software angefertigt.

An strukturgeologischen Untersuchungen erfolgte die Erfassung spröder und duktiler Deformation. Hervorzuheben ist die numerische Modellierung von *Soft Sediment Structures*, die in Form von rotierten Kristallinklasten in den Congerienbreccien auftreten. Um Aussagen über das Deformationsfeld zu machen, wurde das Finite Element Programm BASIL verwendet. Es erstellt mathematische Modelle natürlicher Vorgänge mit Hilfe definierter Parameter, die anschließend mit den realen Gegebenheiten verglichen werden. Dadurch kann gezeigt werden, dass das Rotationsverhalten der Klasten entscheidend von der Deformationsgeometrie abhängig ist. Die

beobachtete Rotation ist *Pure Shear* dominiert, wobei eine Streckungskomponente parallel zur sedimentären Lagerung und eine Ausdünnungskomponente normal darauf rekonstruiert werden konnte. Die Mächtigkeitsabnahme um 30 % wird als Folge der Sedimentauflast gedeutet. Mit der Extension verbunden ist auch die Boudinage der kompetenten Congerienlagen.

Um Aussagen über das ursprüngliche tektonische Regime treffen zu können, wurden an zwei Aufschlüssen 15 Proben für paläomagnetische Untersuchungen genommen, die dann im Geophysik-Labor Gams der Montanuniversität Leoben analysiert wurden. Die Ergebnisse widersprechen einander und sind somit geologisch nicht interpretierbar.

Abstract

This diploma thesis is the presentation of results of sedimentological, structural and palaeomagnetic investigations within the Ingering-Formation. It is situated in the Neogene Fohnsdorf basin in Styria, Austria. Outcrops of the Ingering-Formation can mainly be found at the northern margin of the Fohnsdorf basin, which covers an area of 120 km² and has a depth of 2 km. It therefore represents the largest intramontane basin of the Eastern Alps. The Neogene cover with a Miocene age is built by the Ingering-Formation, which is underlain by the Fohnsdorf-Formation and overlain by the Apfelberg-Formation.

The main focus of this work was a detailed stratigraphic record and analytical tests on sediments of the Ingering-Type-Section near the Ingering-river. The interpretation of the geological data leads to the reconstruction of the environment/conditions during the deposition of the sediments. As sedimentological analysis methods grain size distributions, heavy mineral statistics and the characterisation of thin sections have been used.

Pelitic rocks and sandy layers of a prodelta facies in the lower parts dominate the 1800 m Ingering section. They are followed by more sandy parts with cross bedding of a delta front facies, which migrate into quartzite conglomerates and gravelly sands of the delta front to delta plain facies. The lacustrine Coarsening-Upward succession of the Ingering-Formation is influenced in the lower parts by marine-brackish conditions. Consequently the layers can be interpreted as a southward prograding delta complex, where the geochemical data shows the increase of freshwater. Due to the heavy mineral analysis results and the data of the grain size distribution, it can be concluded that the sediment load had a short distance of transportation and comes from the north-western Wölzer and Rappolt crystalline complexes.

Thick layers of Congeria breccias within the lower parts of the prodelta facies, which bear angular crystalline clasts, are interpreted as sub-aquatic debris flows. They are seen as short-term, event-triggered deposits, which disturb the quiet and constant deposition of the pelitic lake sediments.

As a consequence of the huge amount of section data of 617 layers a computer program named *StratDraw* has been developed in addition to the sedimentological field work and laboratory analyses. *StratDraw* is a simple but functional application, which automatically creates

lithostratigraphic columns from field data within the widely distributed standard software package CorelDRAW™. The stratigraphic sections presented in this work are drawn with this new software.

Additional structural geological work has been the investigation of brittle and ductile deformation. Of particular interest is the numerical modelling of soft sediment structures, which are rotated crystalline clasts within the Congeria breccias. For this reason the finite element modelling software BASIL was used to draw conclusions from the deformation geometries. The program calculates mathematical models of natural scenes via defined parameters, which are then compared with real circumstances. It can be shown that the rotational behaviour of the clasts is mainly dependent on the flow type. The observed rotation is dominated by pure shear flow with a necessary stretching component parallel and normal to the bedding. The reduction of the initial thickness of about 30 % can be seen as a result of increasing sediment load. In connection with the extension is the boudinage of the competent Congeria layers.

In addition 15 palaeomagnetic samples were taken at 2 sites to obtain some statements of the former tectonic regime. These samples were analysed at the Institute of Geophysics of the University of Leoben. The results are contradictory and therefore no geological interpretations are possible.

Dank

Gedankt sei der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, im speziellen der Kommission für die paläontologische und stratigraphische Erforschung Österreichs, und der Universität Wien für den Erhalt eines Förderungsstipendiums, mit deren Mitteln die Arbeit finanziell unterstützt wurde. Weiters möchte ich mich bei meinem Betreuer Michael Wagreich für seine Unterstützung und Ratschläge bedanken. Bernhard Grasemann hat mit der Idee der Modellierung der Arbeit einen positiven Impuls gegeben.

Philipp Strauss hat mir vor allem zu Beginn der Arbeit mit vielen hilfreichen, aktuellen Tipps geholfen und auch viel seines zusammengetragenen Materials über das Fohnsdorfer Becken überlassen. Dafür möchte ich ihm sehr danken.

Reinhard Sachsenhofer und Astrid Weiß von der Montanuniversität Leoben sei für ihre hilfreichen Informationen und Überlassung ihrer Proben gedankt, auch wenn diese nicht weiter zum Einsatz kamen.

Bezüglich ihrer Hilfeleistung bei Visual Basic-Problemen möchte ich mich bei Andreas Neumann und Robert Faber bedanken.

Bei der Schliffbeschreibung haben mir Martin Zuschin und Christoph Baal bei mir unbekannten Fossilien weitergeholfen.

An den Landesverein für Höhlenkunde in Wien und Niederösterreich geht ein Dankeschön für die kostenlose Leihgabe von Fischerstiefeln, ohne die ein Bezwingen der Ingering ohne kalte Füße nicht möglich gewesen wäre.

Über Hermann Mauritsch von der Montanuniversität Leoben kam die Möglichkeit einer paläomagnetischen Beprobung zustande. Die Proben wurden freundlicherweise anschließend von Robert Scholger im Labor Gams gemessen.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern Lucia und Herbert Hölzel bedanken, die mich sowohl in der Wahl meines Studiums als auch finanziell unterstützt haben.

Mein Freund Lukas Plan hat mir bei den Geländearbeiten geholfen und bei der Arbeit viele gute Tipps gegeben, wofür ich ihm sehr danken möchte.

1 Einleitung

1.1 Ziele der Diplomarbeit

Die Zielsetzung der vorliegenden Diplomarbeit ist die sedimentologische Erfassung und Bearbeitung der Ingering-Formation am Nordrand des Fohnsdorfer Beckens (Steiermark, Österreich). Anhand einer detaillierten Aufnahme des Ingering-Typus-Profils und einer genauen Beprobung sollen die Herkunft, die Ablagerungsbedingungen und die stratigraphische Position der Sedimente geklärt werden. Im Vordergrund stehen dabei sedimentologische Untersuchungsmethoden, wie Korngrößen- und Schwermineralanalysen, mit deren Hilfe die Gesteine quantitativ und qualitativ charakterisiert werden. Zusammen mit strukturgeologischen Methoden lassen sich weitere Aussagen über die Beckenentwicklung machen.

1.2 Frühere Arbeiten im Fohnsdorfer Becken

Der Wissensstand über die geologische Entwicklung des Fohnsdorfer Beckens wurde in den letzten Jahren durch einige wissenschaftliche Arbeiten erweitert und führte zum Teil zu neuen Erkenntnissen und Beckenmodellen. Zuvor herrschte schon aufgrund des Kohleabbaues in Fohnsdorf rege Forschungstätigkeit. Zu erwähnen sind die zusammenfassenden Arbeiten von PETRASCHECK (1924), METZ (1957) und MOTTL (1961). Eine sehr ausführliche Beschreibung und Kartierung des Fohnsdorfer und Seckauer Beckens lieferte POLESNY (1970) in seiner Dissertation. Folgende Arbeiten befassen sich mit der Zusammenfassung tektonischer Daten (METZ, 1973) und bieten einen Überblick über die Geologie mit speziellem Schwerpunkt auf Kohlevorkommen (WEBER & WEISS, 1983). GNJEZDA (1988) legte in seiner Dissertation einen Schwerpunkt auf das geothermale Potential und die Strukturgeologie im westlichen Abschnitt des Fohnsdorfer Beckens. In einem Artikel von STRAUSS & WAGREICH (1999) ist die neue lithostratigraphische Gliederung zu finden. Seismikprofile von SACHSENHOFER et al. (2000a,b) brachten neue Erkenntnisse bezüglich des Beckenuntergrundes. Die Diplomarbeit von STRAUSS (2000) gibt einen allgemeinen Überblick über die tektonische und sedimentäre Entwicklung des Beckens. Das tektonische Modell ist weiters detailliert in der Arbeit von STRAUSS et al. (2001) publiziert. Abschließend sei noch die Diplomarbeit von WEISS (2002) erwähnt, in der Sedimente der Fohnsdorf- und der Ingering-Formation geochemisch untersucht wurden.

1.3 Methoden

Die Aufschlussverhältnisse im Fohnsdorfer Becken sind generell als schlecht zu bezeichnen. Besonders die pelitischen Lagen sind oft verschüttet oder abgewittert. Aus diesem Grund mussten viele der Aufschlüsse erst „ausgegraben“ werden, um ein Bild der Sedimente zu erhalten. Die wesentlichen Aufschlüsse liegen dabei entlang des Ingeringbaches NW von Knittelfeld.

1.3.1 Vermessung

Um die räumliche Lage und Mächtigkeiten der aufgeschlossenen Partien zu erhalten, wurde das Gebiet entlang des Ingeringbaches auf einer Länge von 1,2 km vermessen. Dabei kamen ein Laserdistanzer von Leica® und Bussole und Inklinometer von Suunto® zum Einsatz. Die Vermessung erfolgte anhand von Polygonzügen, d.h. es wurden jeweils die Länge, Richtung und Neigung von Abschnitten ermittelt. Das Messen des jeweils liegendsten und hangendsten Punktes unter Berücksichtigung der Schichtneigung eines Aufschlusses ergibt die Mächtigkeit dieses Sedimentpaketes.

An zwei Fixpunkten, deren Koordinaten mittels GPS (Garmin-eTrex®) ermittelt wurden, konnten die Koordinaten der Messzüge im Österreichischen Bundesmeldenetz georeferenziert werden.

Die Auswertung und graphische Darstellung der Messdaten erfolgte mit der Software Compass (kostenloser Download unter <http://fountainware.com/compass/>; <http://www.karst.net/>). Die auf dieser Basis gezeichnete Karte befindet sich in Kapitel 3.1.

Die BMN-Koordinaten der Polygonzüge sind Anhang 3 zu entnehmen.

1.3.2 Profilaufnahme

Die Aufschlüsse wurden zentimetergenau stratigraphisch aufgenommen, wobei eine Klassifizierung der vorkommenden Lithologien nach makroskopischem Befund im Gelände erfolgte. Details wurden graphisch und mittels Digitalfotos dokumentiert.

Zusätzlich wurden 85 Proben genommen, wobei darauf geachtet wurde, die einzelnen Faziesbereiche gleichmäßig zu erfassen.

Für die graphische Darstellung des Ingering-Profils wurde ein mit CorelDraw® interagierendes Computerprogramm (StratDraw - siehe Kapitel 7) entwickelt, mit dessen Hilfe geologische Profile rasch und genau gezeichnet werden können. Es wurden die Signaturen des U.S. Geological Survey (USGS) verwendet, die als *Fill Pattern* zur Verfügung stehen (<http://structure.harvard.edu/~plesch/map%20patterns/index.htm>). Kapitel 3.3 beinhaltet Profile einiger Aufschlüsse, eine Gesamtübersicht des Ingering-Typusprofils im Maßstab 1:50 ist in Beilage 1 zu finden.

Strukturgeologische Daten wurden mit dem Programm Tectonics FP 2.3 (<http://homepage.uibk.ac.at/homepage/c715/c71508/>) ausgewertet und als stereographische Projektion der unteren Halbkugel am Schmidt'schen Netz dargestellt.

1.3.3 Paläomagnetik

In Zusammenarbeit mit der Montanuniversität Leoben (Institut für Geophysik) wurden auch Methoden der Paläomagnetik angewandt. Hierfür wurden Probenreihen aus zwei Aufschlüssen des Ingering-Typusprofils genommen. Die Probenahme erfolgte mittels Plastikwürfel (ca. 2 cm Kantenlänge), mit denen das Sediment aufgenommen wurde.

1.3.4 Sedimentologische Analysen

Für die sedimentologische Auswertung wurden Korngrößenanalysen (21 Proben) durchgeführt. Es wurde darauf geachtet, von jeder Fazies mindestens 4 Proben zu untersuchen. Zuerst wurden die Proben mit Wasserstoffperoxyd (15 %) aufgeschlossen, danach getrocknet und gewogen. Anschließend erfolgte eine Nasssiebung (Maschenweiten: 2; 1; 0,5; 0,250; 0,125; 0,063 mm). Der Silt/Tonanteil wurde danach mit einem Sedigraph (SediGraph 5100 von Micrometrics®) analysiert. Die Daten der Korngrößenanalysen wurden in Microsoft Excel® verarbeitet und mit Grapher 3 von Golden Software als Kornsummenkurven graphisch dargestellt (Daten siehe Kapitel 3.4 und Anhang 1).

Für die Untersuchung der Schwerminerale wurden die Proben mit Essigsäure (80 %) versetzt und nass gesiebt (Maschenweiten 0,125 und 0,063 mm). Danach erfolgte die Abscheidung der Schwermineral- von der Leichtmineralfraktion mittels Tetrabromethan (Dichte = 2,97 g/cm³). Für diese Trennung wurde der Korngrößenbereich 0,125-0,063 mm herangezogen. Die bei ca. 100 °C getrockneten Proben wurden dann zu Streupräparaten verarbeitet und unter dem Mikroskop ausgezählt. Die Zählung erfolgte nach der Bänderzählung, mit Hilfe eines elektronischen Punktezählers (Swift®-Model F). Für die statistische Auswertung wurden 300 Minerale gezählt. War der Anteil von opakem Material dominant, so wurden ab einer Stückzahl von 100 nur mehr durchsichtige Minerale erfasst (MANGE & MAURER, 1991).

2 Das Fohnsdorfer Becken

2.1 Entstehung und Entwicklung

Geographisch befindet sich das Fohnsdorfer Becken in der Obersteiermark, bekannte Städte innerhalb des Beckens sind Knittelfeld und Judenburg. Das längliche Becken wird in E-W Richtung von der Mur durchflossen.

Das Fohnsdorfer Becken ist eines der im Zuge der lateralen Extrusion der Ostalpen im Miozän entstandenen Pull-apart Becken (RATSCHBACHER et al., 1991). Es liegt am Kreuzungspunkt der E-W streichenden Mur-Mürztalstörung und der NNW-SSE verlaufenden Pöls-Lavanttalstörung. Mit einer Fläche von ungefähr 120 km² und einer Tiefe von ca. 2 km (SACHSENHOFER et al., 2000b; SACHSENHOFER et al., 2000a) ist es das größte intramontane Becken der Ostalpen. Im nordöstlichen Teil ist es mit dem gleichzeitig entstandenen Seckauer Becken verbunden.

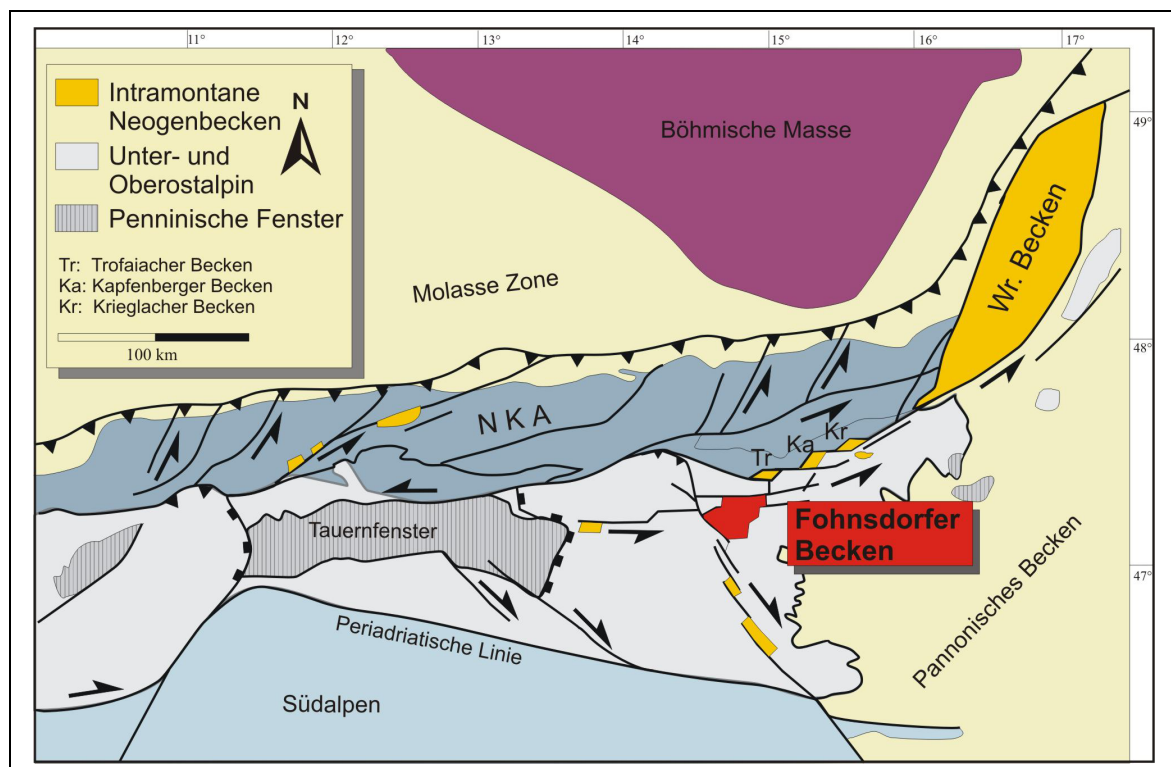


Abb. 2-1 Lage des Fohnsdorfer Beckens in den Ostalpen.

Neuere Erkenntnisse bezüglich der Geometrie des Beckens begründen sich auf Untersuchungen der letzten Jahre. Anhand geophysikalischer Messungen, Bohrungen mit geochemischer Bearbeitung (WEISS, 2002), seismischen Profilen (SACHSENHOFER et al., 2000b) und aufgrund strukturgeologischer Daten (STRAUSS, 2000; STRAUSS et al., 2001) wird die Entstehung und Entwicklung des Fohnsdorfer Beckens folgendermaßen gegliedert:

- **Pull-apart-Phase** mit der Entstehung des Fohnsdorfer und Seckauer Beckens als zusammenhängendes Pull-apart Becken in einem von E-W Extension dominierten sinistralen Spannungsregime.
- **Halbgraben-Phase** mit N gerichteten Abschiebungen, NNW-SEE Extension und der Zerlegung der Pull-apart Becken in zwei Halbgräben.
- **Kompressive Phase**, in der N-S Verkürzung und dextrale *Strike-slip* Störungen dominieren. Es kommt bei diesem Entwicklungsschritt zur Ausbildung einer positiven *Flower Structure* an der Pöls-Lavanttal-Störung.

2.2 Geologischer Rahmen

Das Fohnsdorfer Becken liegt inmitten ostalpiner Kristallinkomplexe und wird im Norden von den Seckauer Tauern und dem Wölzer Kristallin, im Südosten von der Gleinalpe und im Westen von den Seetaler Alpen begrenzt.

Basierend auf neueren geochronologischen Daten (SCHUSTER et al., 1999) wird das Gebiet östlich des Tauernfensters aufgrund seiner Evolutionsgeschichte in vier, durch verschiedene Metamorphosegrade und Lithologien charakterisierte Einheiten (bzw. Decken) unterteilt.

Die tiefste Einheit beinhaltet unter anderen die im Norden gelegenen Seckauer Tauern (Semmeringquarzite, Ortho- und Paragneise) und den Troiseck-Komplex. Diese Zone wird von variszischer Metamorphose dominiert und wurde durch eo-alpine Ereignisse grünschieferfaziell überprägt. In den nördlichen Abschnitten findet sich noch der unveränderte Kontakt zu den permo-mesozoischen Serien.

Der Ammering-Komplex (Plagioklas-, Granit- und Augengneise), der Speik-Komplex (Amphibolite und -gneise), das Wölzer Kristallin und das Steinplan Gebiet (Granatglimmerschiefer) sind Komponenten einer höheren Zone, die durch eo-alpine amphibolitfazielle Metamorphose charakterisiert ist. Relikte einer älteren Überprägung sind nur wenige zu finden.

Die nächst höher gelegene tektonische Einheit, zu der der Rappolt Komplex im Bereich der Gleinalpe (Granatglimmerschiefer, Pegmatite, Marmore), Pegmatite der Teigisch Serie und Eklogite der Sau- und Koralm gezählt werden, war einer polyphasen Metamorphoseentwicklung unterlegen. Es waren dies variszische, permotriassische und eo-alpine Ereignisse, die hier bis in die Amphibolit- und Eklogitfazies reichen.

Zur vierten Decke zählen die Gurktaler Decke, das Bundschuh-Kristallin und der Strieden-Komplex. Sie befindet sich im Süden des ostalpinen Kristallins und wurde durch variszische und permotriassische Metamorphosen überprägt.

2.3 Stratigraphie des Fohnsdorfer Beckens

Bei den Sedimenten im Fohnsdorfer Beckens handelt es sich um Ablagerungen des Unteren bis Mittleren Miozäns, die in drei Formationen (STRAUSS et al., in press.; STRAUSS & WAGREICH, 1999) unterteilt werden: Fohnsdorf-Formation (Ober-Karpatium bis Unter-Badenium), Ingering-Formation (Mittel-Badenium), Apfelberg-Formation (Mittel- bis Ober-Badenium).

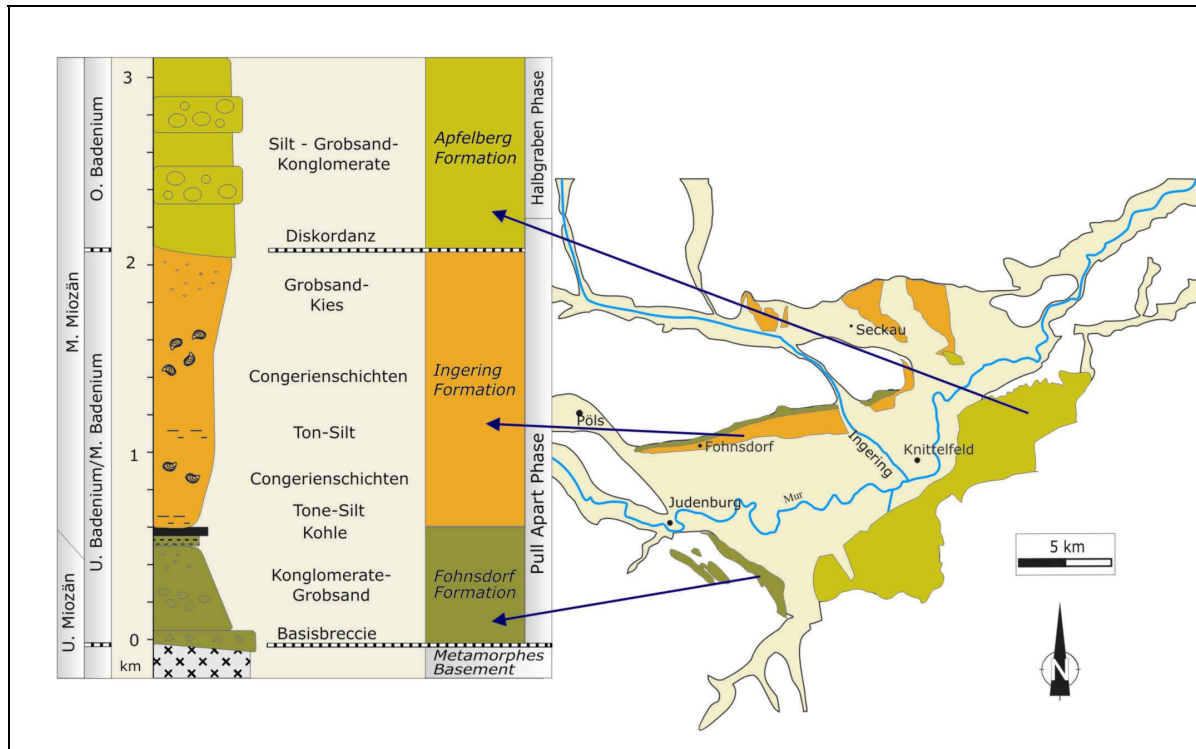


Abb. 2-2 Stratigraphische Übersicht des Fohnsdorfer Beckens
(Karte verändert nach STRAUSS, 2000).

2.3.1 Fohnsdorf-Formation

Die Fohnsdorf-Formation ist hauptsächlich am Nordrand und teilweise auch am Westrand bei Maria Buch aufgeschlossen. Ihre maximale Mächtigkeit beträgt 500 m. Sie setzt sich vor allem aus Grobsedimenten, mit Breccien an der Basis und darüber liegenden Konglomeraten und Sandsteinen, zusammen. Abgeschlossen wird die Abfolge vom Fohnsdorfer Kohleflöz, das eine Mächtigkeit von bis zu 12-15 m erreicht. Die Daten stammen vor allem von POLESNY (1970) aus einem heute nicht mehr zugänglichen Bergbau und aus Bohrungen. Im ehemaligen Tagbau Dietersdorf lässt sich das *Onlap* der Formation auf das Basement beobachten (STRAUSS, 2000). Am Fuß des Tremmelberges (N Knittelfeld) sind an eingeschnittenen Bachläufen Abschnitte der Fohnsdorf-Formation aufgeschlossen. In Maria Buch sind Konglomerate und Sandsteine durch die positive *Flower Structure* an die Oberfläche gebracht worden. Man vermutet aufgrund des Vorhandenseins eines Kohleflözes, das sehr hohe Ähnlichkeiten mit dem Fohnsdorfer Kohlehorizont aufweist (POLESNY, 1970) und aufgrund der Seismikprofile (SACHSENHOFER et al., 2000b), dass es sich bei diesen ebenfalls um Vorkommen der Fohnsdorf-Formation handelt.

2.3.2 Ingering-Formation

Die Ingering-Formation weist eine Mächtigkeit von bis zu 1800 m auf und ist ebenfalls vorwiegend am Nordrand des Fohnsdorfer Beckens aufgeschlossen. Ablagerungen sind allerdings auch vom Seckauer Becken bekannt (POLESNY, 1970). Der Name leitet sich vom Typusprofil an den Prallhängen des Ingeringbaches ab. Im allgemeinen handelt es sich um tonig-siltige Ablagerungen eines brackisch-lakustrinen Sees, in den sukzessive Deltabauten vorrücken und mit ihren Ablagerungen den See verfüllen (SACHSENHOFER et al., 2000a,b; STRAUSS et al., 2001). Das Liegende wird von laminierten, dunklen Tönen gebildet, unterbrochen durch molluskenreiche Breccien, die mit mitgerissenen Kristallinklasten versetzt sind. Ein *Coarsening Upward* dominiert die Abfolge zum Hangenden hin. Es sind dies Sande und Kiese, die teilweise großformatige (~ 3 m) Schrägschichtungen aufweisen. In der hangenden Partie folgen wieder graue, laminierte Tone ähnlich der der Basis. Über die gesamte Abfolge verteilt, treten auch immer wieder blau-graue, oft orange verwitternde Tuffitlagen auf, die vermutlich vom miozänen Vulkanismus aus der Region Bad Gleichenberg im Süden stammen (POLESNY, 1970).

2.3.3 Apfelberg-Formation

Bei der Apfelberg-Formation differenziert STRAUSS (2000) aufgrund der verschiedenen Liefergebiete, einerseits von der Stubalpe, andererseits vom Bereich der Gleinalpe, in einen westlichen und einen östlichen Abschnitt. Aufschlüsse finden sich in der Mehrzahl im südlichen Teil des Beckens aber auch N von Knittelfeld. Dort sind die Sedimente direkt der Ingering-Formation auflagernd. SE von Knittelfeld (Fötschbachgraben) findet man den sedimentären Kontakt zum kristallinen Basement. Beim Großteil der Ablagerungen handelt es sich um *Mass Flow Deposits*, die auf Schwemmfächern zur Ablagerung kamen. Sie setzen sich aus schlecht sortierten Konglomeraten, *Outsized Clasts* und untergeordnet auch aus *Stream Sediments* zusammen (STRAUSS, 2000).

2.4 Chronostratigraphie, Sedimentation und Tektonik

Während der ersten tektonischen Phase, der Pull-apart Phase, wurden die Sedimente der Ingering- und der Fohnsdorf-Formation sedimentiert. Die im hangenden folgende Apfelberg-Formation wird als Ablagerungsprodukt der anschließenden Halbgraben Phase gesehen.

Neben biostratigraphischen und kinematischen Untersuchungsergebnissen gibt es neue absolute Altersdatierungen mittels *Fission Track*. Die Zirkone stammen aus Tuffiten (und Bentoniten), die häufig auftreten, etwa in dem Horizont direkt in der Kohle am Top der Fohnsdorf-Formation, in 5 Schichten in der Ingering-Formation und in 3 Lagen der Apfelberg-Formation (EBNER et al., 2002). Die Fohnsdorf-Formation ist allerdings nur indirekt über Tuffe bestimmt. Der wahrscheinlich an der Basis der Fohnsdorf-Formation, außerhalb des Beckens liegende Tuff von Laas wurde auf 17,1 ($\pm 0,7$) Ma datiert (EBNER et al., 2002), ein Alter, dass mit der Annahme einer gleichzeitigen Bildung des Wiener Beckens, dessen Hauptabsenkung im Oberen Karpatium begonnen hat, übereinstimmt (STRAUSS et al., in press.).

Eine der Lagen aus der Ingering-Formation (Flatschach, BMN-Koordinaten 557 004; 232 009), ungefähr 350 m über dem Fohnsdorfer Kohleflöz liegend, wurde ebenfalls anhand von Zirkonen zeitlich bestimmt und ergibt mit einem Alter von $14,9 \pm 0,6$ Ma eine Einstufung ins Mittel-Miozän (Frühes Badenium, SACHSENHOFER et al., 2000b). Die dritte Datierung aus der Apfelberg-Formation bringt im Vergleich zu den Kleinsäugerfunden in der Grube Apfelberg mit $15,5 \pm 0,8$ Ma (EBNER et al., 2002) ein zu tiefes Alter (RÖGL, 1996; STRAUSS et al., in press.). Die zeitliche Einstufung scheint allerdings durch die Vielzahl der biostratigraphischen Datierungen von Funden aus der Apfelberg-Formation als gesichert (RÖGL, 1996). Biostratigraphische Einstufungen innerhalb der Ingering-Formation, beispielsweise mit Hilfe der Congerien, liefern keine genaueren Alterseinstufungen, da die Fossilien sich für genaue Datierungen nicht eignen und nur das schon bekannte miozäne Alter liefern (pers. Mitteilung MANDIC, 2001).

Im südlichen Teil des Beckens sind im Seismikprofil grobklastische Schüttungen zu erkennen (SACHSENHOFER et al., 2000b), was zur Annahme führt, dass die Apfelberg-Formation vielleicht zeitgleich mit der Ingering-Formation geschüttet, bzw. die Apfelberg-Formation ein hangendes Äquivalent einer südlichen zeitgleichen Schüttung sein könnte. Somit wären die ähnlichen Alter der Tuffe besser erklärt (SACHSENHOFER et al., 2000b; STRAUSS et al., in press.).

3 Die Ingering-Formation

3.1 Aufschlüsse

Die Aufschlüsse der Ingering-Formation sind auf den Nordrand des Fohnsdorfer Beckens beschränkt (ÖK 50, Blätter 161 und 162), wo sich auch das Typusprofil am Ingeringbach befindet. Dort ist die Abfolge mit Schichtlücken auf einer Länge von ungefähr 1,2 km sichtbar. Es ist dies die bei weitem beste und größte Ansammlung von Aufschlüssen. Die freigelegten Flächen sind Prallhänge am Westufer des Ingeringbaches. Die Abfolge beginnt flussabwärts der Autobrücke (Straße von Holzbrucken nach Spielberg) und endet bei einer Wehranlage (N Massweg, Gemeinde Spielberg).

Ein weiterer Aufschluss wurde beim Aushub einer Baugrube (BMN-Koordinaten: 559.135/232.048, Sh.: 700 m) im Jahr 2001 in Spielberg freigelegt, der allerdings schon wieder im Zuge des Hausbaues verfüllt worden ist.

In einem Hohlweg N von Sillweg (BMN-Koordinaten: 553.700/232.150, Sh.: 770 m) befindet sich ein weiterer erwähnenswerter Aufschluss der Ingering-Formation. Das ca. 400 m lange Vorkommen wurde nicht gesondert aufgenommen, da es schon von POLESNY (1970) detailliert dokumentiert wurde (siehe Kapitel 3.3.5). Die Abteilung Paläobotanik des Naturhistorischen Museums Wien hat dieses Profil 1999 beprobt.

In SACHSENHOFER et al. (2000b) sind 2 Seismikprofile (WNW-SSE-Richtung vom Kohlebau Fohnsdorf 6 km bis Weisskirchen und 2,6 km W/E-Richtung N Judenburg) beschrieben, deren Interpretation für die Ingering-Formation („upper complex“) Progradationsstrukturen ergeben.

Weiters gibt es lithologische Informationen und geochemische Analysen von Tiefbohrungen, die im Rahmen von Geothermieprojekten oder im Zuge der Kohleprospektion abgeteuft wurden.

Geochemische Analysen wurden von WEISS (2002) anhand von *Cuttings* der Bohrungen Gabelhofen Thermal 1 und Weißkirchen durchgeführt. Gabelhofen liegt im Nordteil des Beckens und beinhaltet sowohl Gesteine der Fohnsdorf-Formation als auch der Ingering-Formation. Die Bohrung Weißkirchen liegt im Süden des Beckens und liefert die einzige Quelle an Informationen über die Ingering-Formation aus diesem Bereich.

Weitere Bohrungen sind in der Arbeit von POLESNY (1970) beschrieben (siehe Tab. 3-1).

Bohrungsname	Formationen	Tiefe (m)	Jahr	Bemerkungen
Knittelfelder Kohlebergbau	?	306	?	
Rattenberg	Fohnsdorf-Fm., Ingering-Fm. (497 m)	518	1909	Über Kohlehorizont keine Congerien, sondern dunkle Mergel
Maria Buch	Ingering Fm. ?	282	1870	
Laas	?	75	1946	

Hautzenbichl	Basement, Fohnsdorf- Fm., Ingering- Fm. (ab -90 m, 81 m)	564	1948	Kohlespuren, darüber direkt Congerienlagen
Bohrung A1, Hetzendorf	Ingering-Fm.	554	1950	Ton-Sand- Wechselfolge
Bohrung A2, Murdorf	?	737	1951	
Bohrung A4 Kobenz	Ingering-Fm.	514	1951	Congerienschichten
Bohrungen Graden I, II, III	Ingering-Fm.	31, 56, 233	1943	Congerienschichten direkt über der Kohle

Tab. 3-1 Auswahl von Bohrungen im Fohnsdorfer Becken vor 1960.

Im Seckauer Becken wurden trotz intensiver Suche keine aussagekräftigen Aufschlüsse gefunden, im Vergleich zur Bearbeitung von Polesny (1970) hat sich die Aufschlusslage verschlechtert.

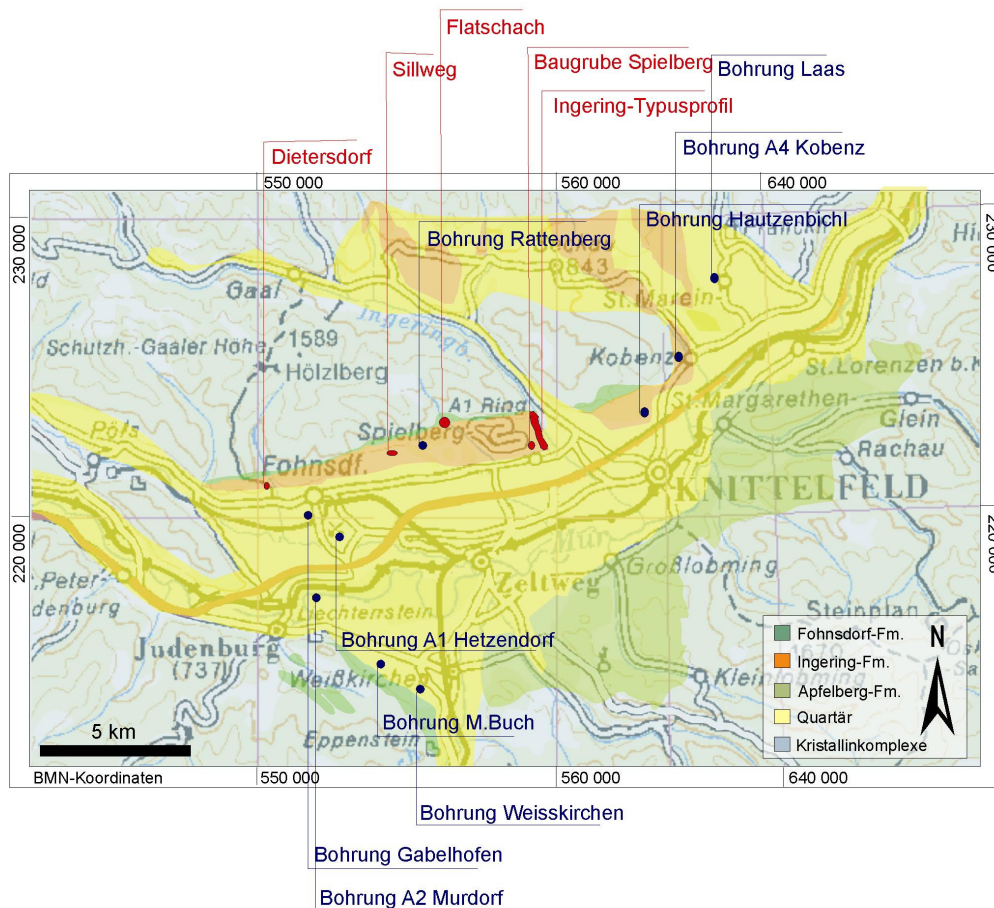


Abb. 3-1 Topographische und geologische Karte mit Aufschlüssen (rot) und Bohrungen (blau) der Ingering-Formation (Geologie nach STRAUSS, 2000).

3.2 Typusprofil Ingering

Das Typusprofil der Ingering-Formation befindet sich N Massweg (Gemeinde Spielberg) am Nordrand des Beckens. Es wurde auf dem Abschnitt zwischen Wehr und der Brücke der Straße von Holzbrücken nach Spielberg auf einer Länge von 1,2 km aufgenommen. Die dort aufgeschlossene reale Mächtigkeit (exklusive Quartär) der Schichten beträgt 156 m, also ca. die Hälfte des an der Ingering noch vorhandenen Schichtpaketes von ca. 320 m.

Das Profil setzt sich aus 10 Teilaufschlüssen zusammen, weil es von den Aufschlussverhältnissen nicht möglich war, zusammenhängende Abfolgen zu kartieren. Letztlich wurden 135 m Profil (exklusive 16 m quartäre Überlagerung) aufgenommen.

Zur Ermittlung bzw. zur Überprüfung der Schichtmächtigkeiten wurden das Gebiet und die jeweils liegendsten und hangendsten Punkte der Aufschlüsse vermessen (siehe Kap. 1.3.1). Die auf diesen Messungen basierende Karte ist in Abb. 3-2 zu finden.

Zusammenfassend lässt das Profil ein kontinuierliches *Coarsening Upward* erkennen, das allerdings im Hangenden, entgegen der früheren Publikationen, mächtige Einschaltungen von feinkörnigen Sedimenten erkennen lässt. Die Abfolge beginnt im Liegenden mit dunklen laminierten Peliten, in die Feinsandbänke eingeschaltet sind. In den Peliten finden sich sehr oft auch Kohleschmitze und Pflanzenhäcksel. An der Basis wurde eine rostbraun verwitternde Tuffitschicht kartiert. Gelegentlich sind auch dünne Congerienschillbänder, beziehungsweise Linsen eingeschaltet. Es folgen bis zu zwei Meter mächtige Congerienbänke, mit zwischengeschalteten cm-dicken Tonlagen. Diese Congerienbänke sind reich an synsedimentären Deformationsstrukturen. Weiters ist eine große Anzahl an Kristallinklasten in den Bänken zu sehen. Auffallend sind senkrecht stehende inkohlte Wurzelreste am Top einer mächtigen Congerienbank. Über den Congerierschichten folgen wiederum laminierte Pelite, in denen ein Häufigerwerden der Sand(-stein)bänke zu beobachten ist. Weiter im Hangenden wird das Profil gröber, es treten häufiger mittel- bis grobsandige Bänke auf, und nach und nach kommt es zum Verschwinden der Pelite. Teilweise schräggeschichtete Sande mit kiesigen Schichten dominieren im hangenden Abschnitt. Mit einer deutlichen Diskordanz (*Onlap*) folgen dann wiederum graue Pelite, dann Kiese und schließlich wird die Abfolge im Hangenden von Peliten abgeschlossen. In den hangenden Tonvorkommen finden sich wieder einige Tuffithorizonte.

Die Schichten fallen durchschnittlich sehr flach nach Süden ein (Durchschnitt der ermittelten Werte 188/20). Diese Schrägstellung ist auf die tektonische Aktivität während der Halbgraben-Phase zurückzuführen.

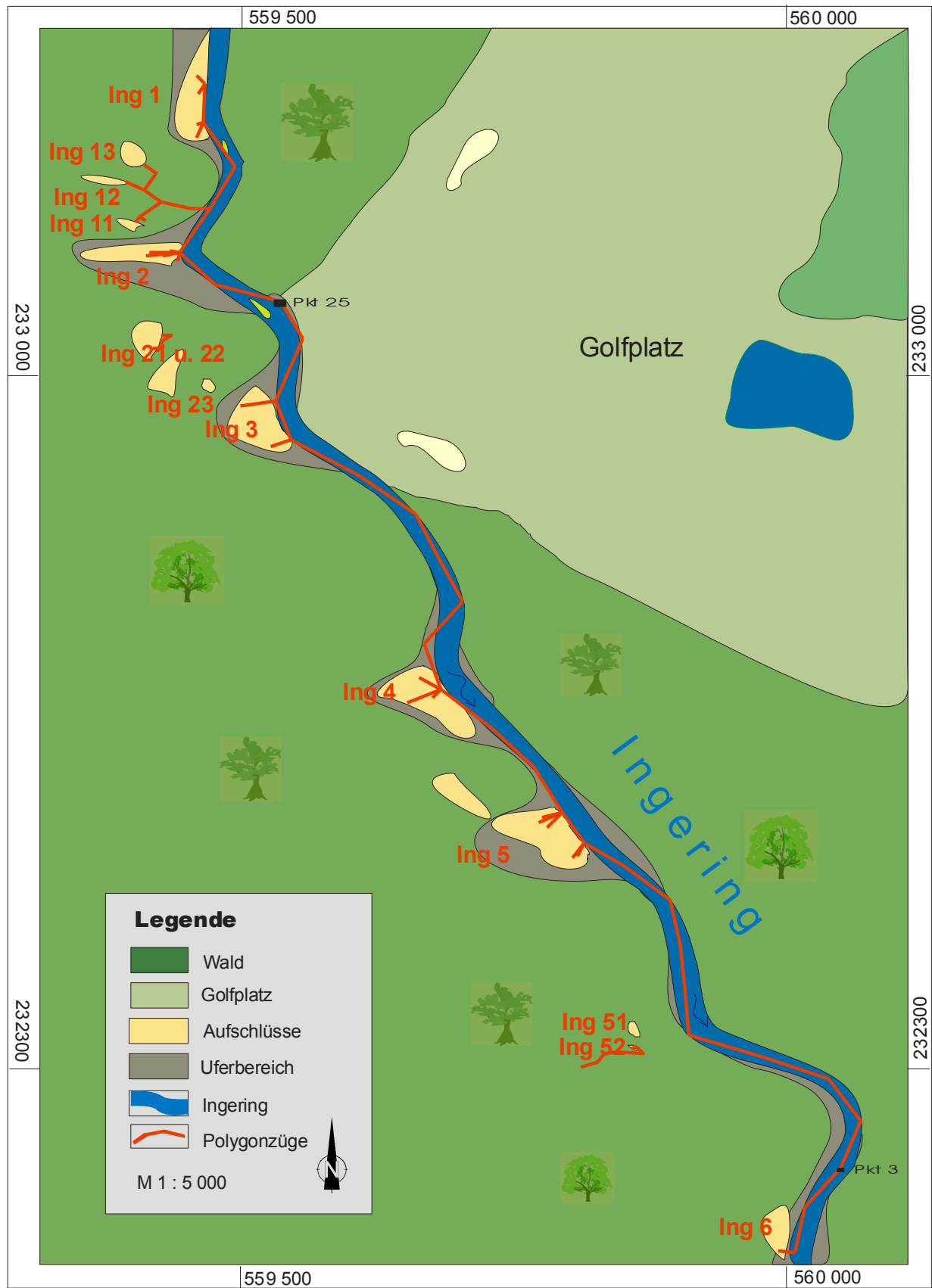


Abb. 3-2 Ingeringbach-Übersichtskarte der Aufschlüsse (BMN-Koordinaten (M31) der GPS-Punkte: Pkt. 3: 560 051; 232 267; Sh: 689 m; Pkt. 25: 559 528; 233 080; Sh: 705 m).

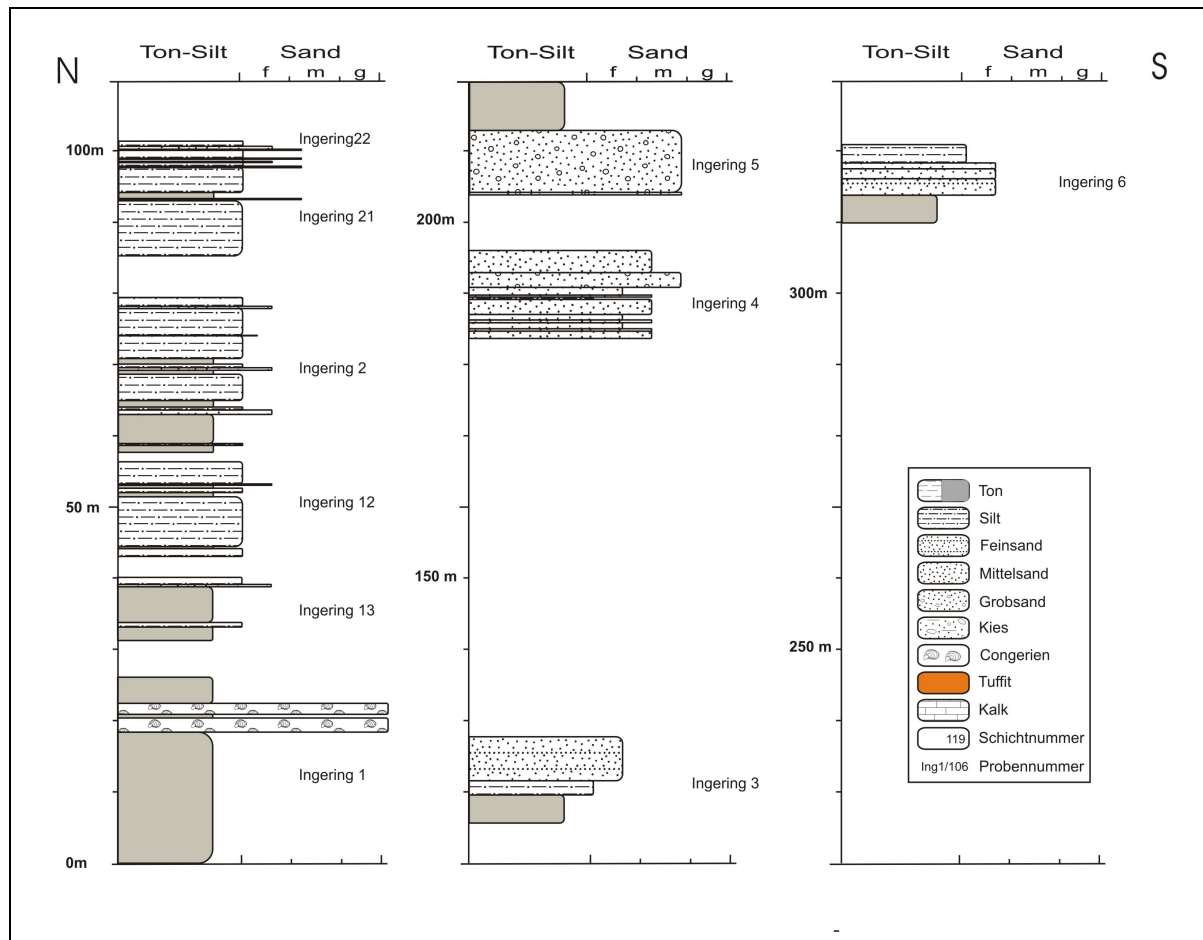


Abb. 3-3 Übersicht des Ingering-Typusprofils, Legende gilt für alle in dieser Arbeit dargestellten Profile.

3.2.1 Übersicht über Lithofaziestypen

3.2.1.1 Pelite mit dünnen Sandlagen

Im Liegenden (ca. 18 m) sind laminierte grau-braun verwitterte Pelite oder Mergel, die manchmal sehr stark zementiert sein können, vorherrschend. Die Schichtflächen sind meistens mit Muskovit überzogen und/oder voll mit Pflanzenhäckseln und kleinen Kohlestückchen. Besonders im liegenden Bereich kommen auch feine Congerienschillhäutchen vor. Die Sedimente sind meist im mm-Bereich geschichtet und es finden sich sonst keinerlei sedimentäre Strukturen. Es gibt auch keinerlei Hinweise auf Bioturbation.

Zwischen den mächtigen Peliten sind oftmals dünne, schräggeschichtete Feinsandlagen eingeschaltet. Oft variieren die Schichtdicken der Sande von einigen mm bis zu einigen cm, manchmal sind sie nur als Linsen ausgebildet.

Die Schrägschichtung zeigt eine Schüttungsrichtung von NW (durchschnittliches Schrägschichtungseinfallen: 156/29) an.

3.2.1.2 Sand dominierte Fazies

Im hangenden Teil des Profils kommt es zu einem sukzessiven Übergang von pelit- zu sanddominierten Lagen. In Aufschluss Ingering 4 und 5 dominieren mittel- bis grobkörnige Sande, die vor allem aus Quarz und Muskovit bestehen. Biotit tritt erstmalig in einem höheren Niveau, in Aufschluss Ingering 6, auf. In diesen Sanden sind wiederum Kohlestückchen und durchgehende Lagen, die aus Pflanzenhäckseln bestehen, eingelagert. In Aufschluss Ingering 5 sind auch Kieslinsen zu finden, die in ihrer Struktur für ehemalige Rinnen sprechen.

3.2.1.3 Congerienbreccien

Die in den Peliten zwischengeschalteten Congerienlagen sind im liegenden Bereich nur cm- bis dm-dick und erreichen an einem Punkt (Ingering 1, siehe Kapitel 3.3.1) eine Mächtigkeit von bis zu zwei Metern. Die dünnen Lagen (Ingering 1; Schicht-Nr. 3a und Nr. 11) sind aus zerbrochenem feinem Muschelschill (< 10 % unzerbrochene Schalen) zusammengesetzt, weitgehend unzementiert und deshalb schon stark verwittert. In Nr. 11 sind max. 5 cm große Kristallinklasten (Glimmerschiefer, Gneis) eingelagert, die allerdings weniger als 10 % der Komponenten ausmachen. Die mächtigen Lagen (z.B. Ingering 1; Nr. 105 und Nr. 119) bestehen großteils aus matrixgestützten Individuen, die in einer grauen bis weißen Matrix aus sandig tonigem Material eingebettet sind. Durch Zementierung sind die Schichten zu einer relativ verwitterungsresistenten Bank verfestigt. Bei den Congerien handelt es sich um *Congeria cf. antecroatica* (POLESNY, 1970), deren bevorzugter Lebensraum das seichte Wasser war. Sie finden sich gemeinsam mit *Theodoxus crenulatus* und anderen Gastropoden (Schliffbild siehe Abb. 3-5), Ostracoden sowie Bivalven (z.B. *Physa norica*). Die Schalen sind nicht eingeregelt und zu ca. 40 % unzerbrochen. In den Congerenschichten sind Kristallinklasten (15 % Anteil an Komponenten) eingelagert, vorwiegend Grünschiefer (70 % Anteil an Kristallinklasten), untergeordnet Amphibolite (25 %); Gneise (10 %) und Quarzgerölle (5 %). Sie sind abgerundet und weisen keinerlei Regelmäßigkeit in ihrer Größenverteilung und Anordnung auf. Die kleinsten Klasten messen 1 cm, die größten Komponenten sind bis zu 24 cm groß.

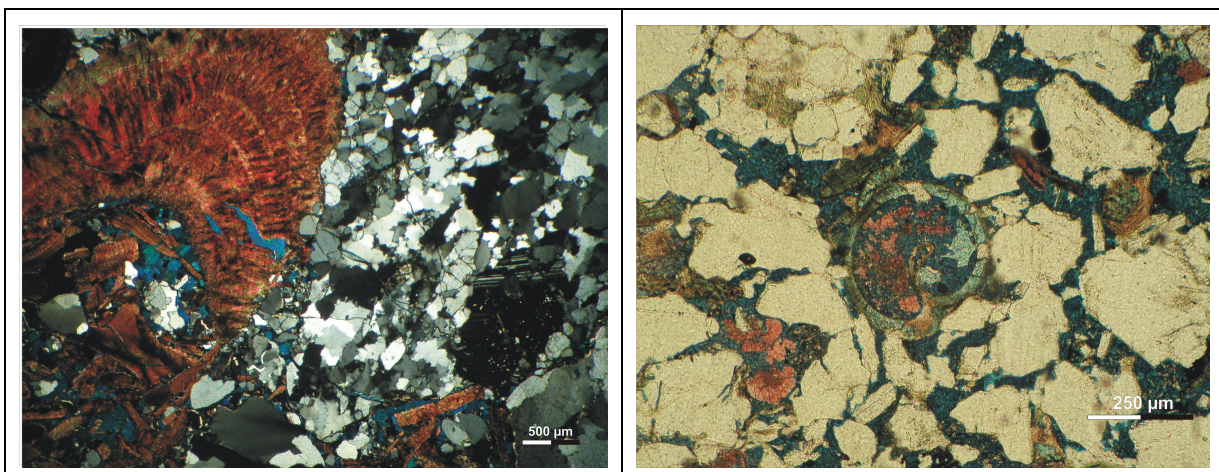


Abb. 3-4 Congerienlage Nr. 105: Congerierschale mit Gneisklast, 2,5-fache Vergrößerung bei gekreuzten Polarisatoren.

Abb. 3-5 Gastropode in Congerienlage Nr. 105, 10-fache Vergrößerung.

3.2.1.4 Kiesdominierte Fazies

In Aufschluss Ingering 51 sind die größten Sedimente innerhalb des Profils zu sehen. Es ist dies Mittelkies, der ein *Coarsening Upward* zu Grobkies zeigt. Das Sediment setzt sich aus schätzungsweise 70 % Quarz, 20 % Amphibolitbruchstücken und 10 % Glimmerschieferresten zusammen. Die Komponenten sind angerundet und es sind sowohl Abschnitte zu finden, in denen das Sediment matrixgestützt auch komponentengestützt ist. Die Komponenten sind teilweise eingeregelt, sodass Schichtung zu erkennen ist.

3.2.1.5 Tuffit

Im Profil wurden mindestens 4 Tuffitlagen gefunden. Es sind dies blau-graue, oft leuchtend orange verwitternde Schichten pelitischen Materials. Die Lagen sind meist einige Zentimeter (~ 5 cm) dick. Laut POLESNY (1970) stimmen die petrographischen Kriterien der im Becken vorkommenden Tuffite annähernd überein. Sie bestehen vor allem aus feinstem detritären Kristallinmaterial (Quarz, Muskovit, Biotit) und am Ingeringbach beschreibt POLESNY (1970) ein Vorkommen mit Resten von Kieselorganismen.

3.3 Beschreibung und Interpretation ausgewählter Teilprofile und Faziesbereiche

3.3.1 Ingering 1 - Pelite und Congerienbreccien

ÖK 50, Blatt 161, RW: 559 440; HW: 233 253, Sh.: 707 m (Koordinate Pkt. 1c ist in Abb. 3-8 eingetragen)

Dieser Aufschluss umfasst eine Mächtigkeit von 25,4 m und beinhaltet den liegendsten aufgeschlossenen Abschnitt des Ingering-Profiles. Der basale Teil wird von einer Abfolge dunkler laminiierter Pelite gebildet. Sie zeigen keinerlei Sedimentstrukturen oder Bioturbation und weisen somit auf einen ruhigen Ablagerungsraum hin. Die Ergebnisse der Korngrößenuntersuchung bestätigen diese Aussage (siehe Kap. 3.4).

Drei Meter über der Basis fällt eine bläulich-grau verwitternde Feinsedimentlage (Profil Abb. 3-10, Bank P) mit einer Mächtigkeit von 6,5 cm auf. Hierbei handelt es sich um eine der Tuffitlagen des Profils. Die Ablagerung der Tuffite wird im Zusammenhang zum miozänen Vulkanismus im Raum Bad Gleichenberg gesehen. Dieser Tuffit liegt etwa auf gleichem Niveau (350 m über dem Fohnsdorfer Kohlehorizont) wie das in Flatschach altersdatierte Vorkommen (siehe Kap. 2.4). Diese als auch andere (Pelit-) Lagen von Aufschluss Ingering 1 wurden für paläomagnetische Untersuchungen von Dr. Stingl (Montanuniversität Leoben) beprobt (siehe Kap. 5).



Abb. 3-6 Pelite im Liegenden von Aufschluss Ingering 1.



Abb. 3-7 Aufschluss Ingering 1: Wechsellagerung von Congerienbreccie und Pelitlagen.

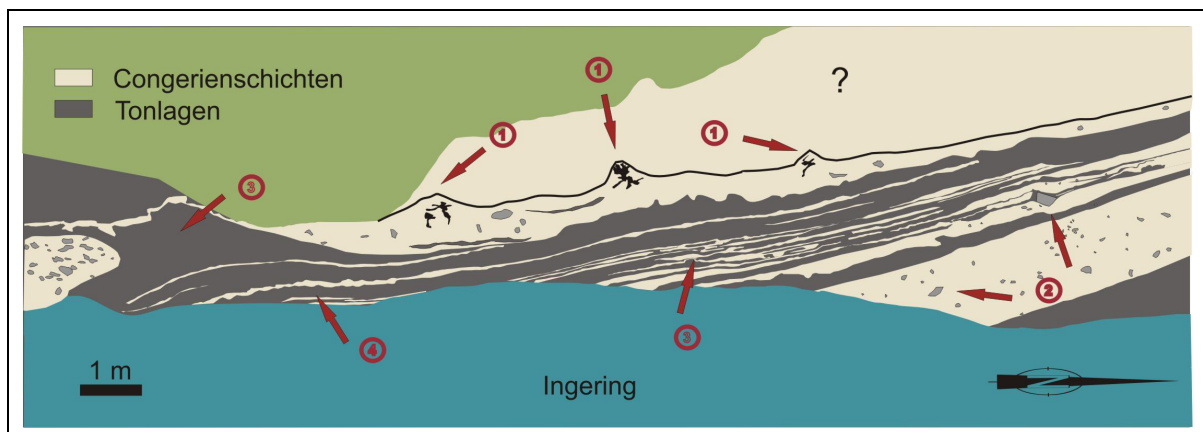


Abb. 3-8 Aufschlußskizze Ingering 1; ① inkohle Wurzelstöcke, ② Kristallinklasten, ③ Boudinagen, ④ Falten und Slumps.

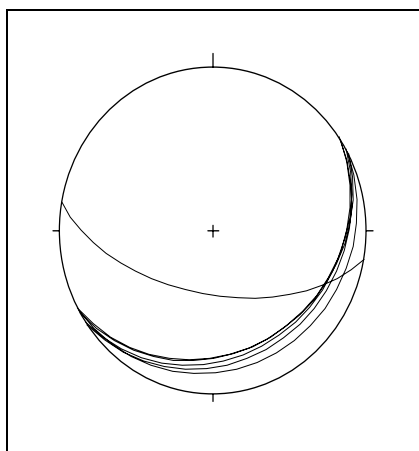


Abb. 3-9 Einfallen der schräggeschichteten Flächen der zwischengelagerten Sande.

Die Schichten 3a und 11 (Profil Abb. 3-10) sind zwei Congerienlagen (10 und 20 cm mächtig), die fast zur Gänze aus zerbrochenen, eingeregelter Muschelresten (< 10 % unzerbrochen) und einigen max. 3 cm großen Kristallinklasten bestehen. Danach folgen wieder Pelite, in denen vermehrt Feinsandlagen (max. 4 cm dick), die in den meisten Fällen schräg geschichtet (durchschnittliches Schichteinfallen: 156/29, siehe Abb. 3-9) sind, auftreten. Über den Peliten folgt eine Wechselfolge von Schichten, bestehend aus mächtigen Congerienbreccien und Tonlagen (s. Abb. 3-7).

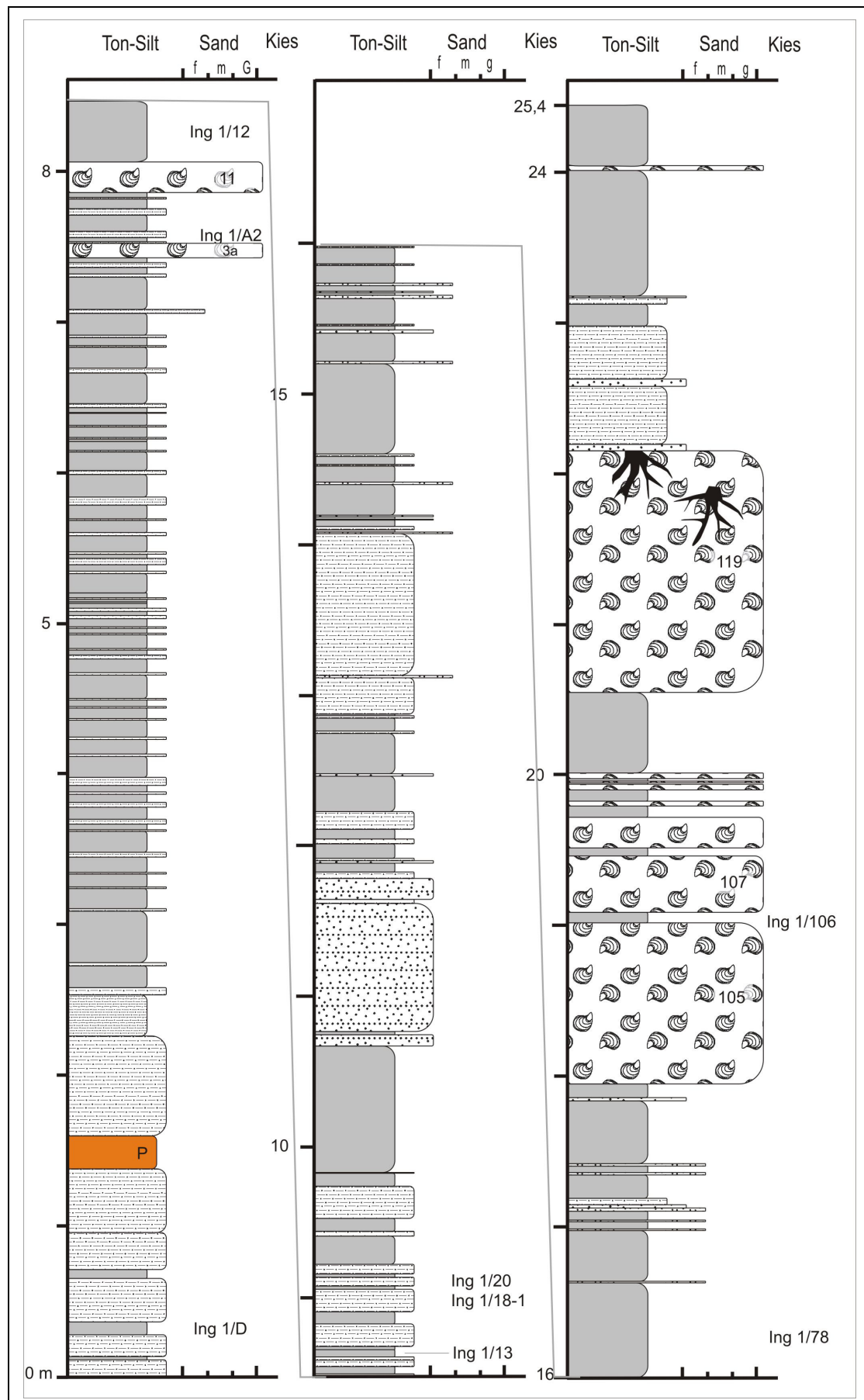


Abb. 3-10 Profil des aufgeschlossenen Bereiches von Ingering 1.

Die erste dieser Congerienbreccien ist eine 1m mächtige Lage (Profil Abb. 3-10, Nr. 105) und besteht zu ca. 70 % aus Molluskenschalen und zu ca. 15 % aus einer tonig bis sandigen Matrix. Der Rest wird von eckigen kristallinen Komponenten eingenommen (Grünschiefer, Amphibolit, Gneis, Quarzgeröll). Die Molluskenschalen sind zu 40 % unzerbrochen und matrixgestützt. Am Top der Schicht (ca. 12 cm) kommt es zu einem deutlichen Feinerwerden des Materials. Dieses *Normal Grading* (siehe Abb. 3-16) geht von der massigen Breccie in einen fein zerriebene Schalen führenden Sandstein mit bis zu 4 cm großen Kristallinklasten und vereinzelt ganzschaligen Schalen zu stark einem zementierten, siltig-tonigen Material mit Pflanzenstücken über. Der mikroskopische Befund zeigt als detritische Komponenten hauptsächlich undulösen Quarz, der sowohl als Einzelkörner als auch in Klasten (Gneise mit neu gesprossstem Chlorit) vorkommt. Das biogene Material sind Congerenschalen, untergeordnet Gastropoden und Ostracoden. Ihre kalzitischen Schalen werden von dolomitischem Material verdrängt und sind nicht eingeregelt. Der Porenraum ist mit dolomitischem Zement ausgefüllt. In einer Congerienlage waren im Schliff Braunalgen (pers. Mitteilung, ZUSCHIN, BAAL, 2003) zu finden, deren Lebensraum ein Süßwasser- bis brackisches Milieu ist.

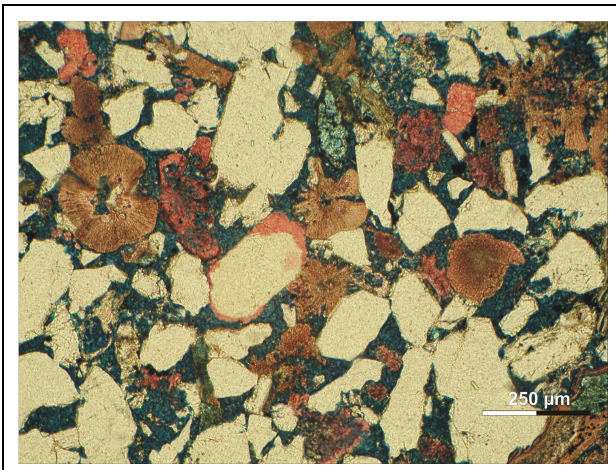


Abb. 3-11 Braunalgen in Congerenschichten
Nr. 105, 10-fache Vergrößerung.

Darüber folgt wieder eine Tonschicht, die wiederum von einer Congerienlage (80 % Fossilien), die allerdings weniger Matrix aufweist, und kleinere Klasten beinhaltet, abgelöst wird. Teilweise ist auch eine Einregelung der Fossilien zu erkennen. In diesem Teil des Aufschlusses treten erstmalig Deformationsstrukturen auf. Zum Beispiel befindet sich in Schicht 107 ein auffallend großer trapezoedrischer Kristallinklast (14 x 24 cm), an den sich die umgebenden Tonschichten „anschniegen“. Darüber folgen eine Reihe wechsellagernder Tone und

Schichten aus zerbrochenen, dünnschaligem Schill, die allerdings nur cm- bis dm-Mächtigkeiten erreichen. Der Schalenanteil nimmt im Hangenden immer mehr zu (bis zu ca. 90 %), das Gefüge wechselt von matrixgestützt zu komponentengestützt, und es ist eine geringere Anzahl an Kristallinklasten mit einer maximalen Größe von 2 cm zu beobachten. Die Pelite sind wiederum dunkelgrau, laminiert und führen Muskovit und reichlich Pflanzenhäcksel. Oft lassen sich die einzelnen Schichten nicht über den gesamten Aufschluss verfolgen. Es sieht vielmehr nach einer unregelmäßigen Verzahnung der Lagen (Nr. 108-118) aus. Auch sind in dieser Abfolge einige der (feineren) Congerienlagen zu pygmatischen Falten deformiert und es finden sich auch scheinbare Aufschiebungen im Sediment (zu den Deformationsstrukturen siehe Kapitel 4). Mit Schichtnummer 119 folgt die mächtigste der Congerenschichten (ca. 3 m), die wiederum Klasten beinhaltet. Gleichzeitig sind das Durchreißen der Congerienbank und scheinbare Aufschiebungen zu beobachten. Sehr auffallend sind 3 inkohlte Wurzelstöcke, die aufrecht im Gestein eingelagert sind (siehe Abb. 3-14). Der hangendste Teil des Aufschlusses wird von grauschwarzen laminierten Tonen eingenommen, die ungestört auf den Congerienbänken liegen.



Abb. 3-12 Tuffitlage P; 6,5 cm mächtig.



Abb. 3-13 Dünne Congerienlagen, 9 und 19 cm mächtig, (Schichtnummern 3 und 11).



Abb. 3-14 Aufrechter inkohlter Wurzelstock in Congerienbank Nr. 119.



Abb. 3-15 Nahaufnahme einer Congerenschicht (Schichtnummer. 105).



Abb. 3-16 Normal Grading im hangenden Bereich von Congerienbank Nr. 105.



Abb. 3-17 Verfaltete Congerenschichtlage.

3.3.1.1 Interpretation

Mit der Ablagerung des Fohnsdorfer Kohleflözes war der Höhepunkt der Kohlebildung erreicht. Die darüber liegenden Sapropelite und Pelite der Ingering-Formation werden danach in einem sukzessive tiefer werdenden See ("Ingering-See", SACHSENHOFER et al., submitted 2002) abgelagert. Während der ruhigen, gleichförmigen Sedimentation in einem Seebecken bzw. im Prodeltabereich kommt es zu kurzfristigen Ereignissen, bei denen die Congerienbänke zur Ablagerung kommen. Aufgrund ihrer Beschaffenheit werden sie als *Debris Flow* Sedimente im weitesten Sinn interpretiert.

NEMEC & STEEL (1984) unterscheiden zwischen kohäsiven (*Mudflow*) und kohäsionslosen (*Grain Flow*) *Debris Flows* und unter subaerischen oder subaquatischen Bedingungen abgelagerten Schuttströmen (vgl. Abb. 3-18). Die Art und Weise der Korninteraktion leitet sich von den rheologischen Eigenschaften ab, d.h. die beiden Arten von *Debris Flows* unterscheiden sich in der Art ihres Gefüges (im wesentlichen matrix- oder komponentengestützt) und in der Art ihrer *En Masse*-Ablagerung. Dabei wird zwischen *Cohesive Freezing* (d.h. das Fließen wird durch Tonpartikel zum Stillstand gebracht.) und *Friction Freezing* (d.h. die Komponenten unterbinden den weiteren Fluss der Ablagerung.) unterschieden. In Bereichen, in denen die Congerenschalen gut erhalten sind, handelt es sich somit um *Friction Freezing*, die den *Debris Flow* zum Stillstand gebracht haben. Generell ist allerdings zu sagen, dass sowohl kohäsive als auch kohäsionslose *Debris Flows* Ablagerungen bilden, deren Gefüge von matrix- bis korngestützt reichen kann und somit noch andere Parameter für die Beurteilung und Charakterisierung eingesetzt werden müssen.

Die Autoren verwenden deswegen zur Unterscheidung einen semi-quantitativen statistischen Ansatz, der auf dem Zusammenhang zwischen der Kompetenz und der Dicke eines *Debris Flows* basiert. Kompetenz (sensu HAMPTON, 1975, 1979) oder Suspensionskompetenz (sensu PIERSON, 1981) ist die Größe der größten Komponente, die zur Gänze vom *Flow* während seines Transportes mitgetragen werden kann, oder in Suspension ist. Aufgrund vom Vergleich zahlreicher sedimentärer Abfolgen kann gesagt werden, dass es einen positiven linearen Zusammenhang zwischen der Lagendicke und der maximalen Partikelgröße (das arithmetische Mittel der zehn größten Komponenten, nach NEMEC & STEEL, 1984) gibt. Je nach Lage der Regressionsgerade kann zwischen kohäsivem und kohäsionslosem *Debris Flow* unterschieden werden.

Im Falle der Congerenschichten wurde dieser Ansatz versucht, doch aufgrund der knappen Aufschlussverhältnisse stand zu wenig Datenmaterial zur Verfügung, sodass keine signifikanten Korrelationswerte ermittelt werden konnten.

Die Autoren heben auch eine gesonderte Stellung für *Mass Flows* in lakustrinen Deltas hervor, weil durch das Auftreffen des *Flows* auf einen passiven Wasserkörper und die Mischung mit Wasser und Seeablagerungen das Verhalten des *Flows* verändert wird. Die Charakteristika solcher *Debris Flows* sind ihre Assoziation mit Turbiditen, das Vorhandensein fossilreicher oder biomikritischer Zwischenlagen, Bioturbation, das Auftreten wellengenerierter sandiger Zwischenlagen, das oftmalige Vorkommen von tonigen bis siltigen Einschaltungen, textuelle Variationen, schlechte Sortierung (LEEDER, 1999), gute innere Organisation (Imbrikation, eingeregelter Klasten), Verbreitung meist sandiger Abschlusschichten und die gute Ausprägung von Gradierungen (invers, invers bis normal, und normal). Der letzte Punkt steht allerdings im Widerspruch zu einigen anderen Autoren

(LEEDER, 1999; PRATSON et al., 2000), die die Meinung vertreten, dass *Debris Flows* wenige bis gar keine Internstrukturen aufweisen und ihr Erscheinungsbild eher massig ist.

Der Tonanteil eines Schuttstromes ist eher ein kritisch zu betrachtendes Unterscheidungsmerkmal. Er ist einerseits schwer abzuschätzen, andererseits gibt es in der Literatur keine Einigkeit, bei welchem Prozentsatz die Grenzen zwischen kohäsionslos und kohäsivem *Debris Flow* gezogen werden können (NEMEC & STEEL, 1984), bzw. ist der Übergangsbereich breit und fließend.

Die oben genannten Merkmale unterstreichen die Tendenz eines *Debris Flows* sich in einen *High Density Turbidite* zu entwickeln. Der *Debris Flow* nimmt mit der Zeit immer mehr Wasser auf und der steigende Wassergehalt, der durch die Turbulenzen, die durch das Einmischen des Wassers in das tonige Material bedingt ist, führt dazu, dass der Schuttstrom seinen inneren Zusammenhalt verliert. Am Ende kommt es schließlich zum Übergang ins turbulente Fließen und damit zusammenhängend zu einem *Turbidite Flow* (NEMEC & STEEL, 1984).

Im Fall der Congerienablagerungen sprechen die Kriterien dafür, dass es sich initial um subaquatische, kohäsive *Debris Flows* gehandelt hat, die sich im Laufe ihres Transportes durch Wasseraufnahme in *Turbidite Flows* umgewandelt haben. Für die Interpretation als *Debris Flow* sprechen die schlechte Sortierung und das Fehlen eines erosiven Überganges (z.B. PRATSON et al., 2000) zwischen den Pelit- und Congerienlagen. Außerdem stimmt das Ablagerungsmilieu der unterlagernden Tone bzw. Sapropelite nicht mit dem Lebensraum der Congerien überein. Weiters muss das Auftreten der Kristallinklasten erklärt werden. Ihr Liefergebiet sind die im Norden gelegenen Kristallinkomplexe, ihre heutige Position liegt im distalen Bereich des ehemaligen Beckens in einem mehrere hundert Meter tiefen See (SACHSENHOFER et al., 2000b). Ihr Transportweg muss aufgrund der eckigen Kornform der Kristallinklasten entweder relativ kurz gewesen sein, was durch die distale Position allerdings ausgeschlossen werden kann, oder die Ablagerung muss rasch erfolgt sein, was hier der Fall ist. Weiters kann die Wechsellagerung von Peliten und Congerienlagen im dm- bis cm-Bereich als charakteristisches Merkmal angesehen werden. Bioturbationen sind keine zu finden, was aber aufgrund des dysoxischen Milieus (SACHSENHOFER et al., submitted 2002) auch nicht zu erwarten wäre.

Die mitgerissenen Klasten, vor allem das Aussehen der Amphibolite lassen auf eine Herkunft aus dem Gebiet des Speik-Ammering-Komplexes schließen (pers. Mitt., SCHUSTER, 2003).

Die Ablagerungen eines *Debris Flows* beginnen schon im Bereich seiner Herkunft, verdicken sich graduell Richtung Beckeninneres und enden abrupt an der Stirnseite (PRATSON et al., 2000). Leider kann nichts über die Geometrie dieser Ablagerung und somit auch nichts Genaues über ein mögliches Liefergebiet gesagt werden, da die Aufschlussgrößen für solch eine Interpretation zu gering sind. Aufgrund der älteren Bearbeitungen und Bohrungen weiß man nur, dass die Schichtdicken am heutigen Beckenrand variieren und die Congerienlagen nicht in allen Aufschlüssen der Ingering-Formation anzutreffen sind (POLESNY, 1970).

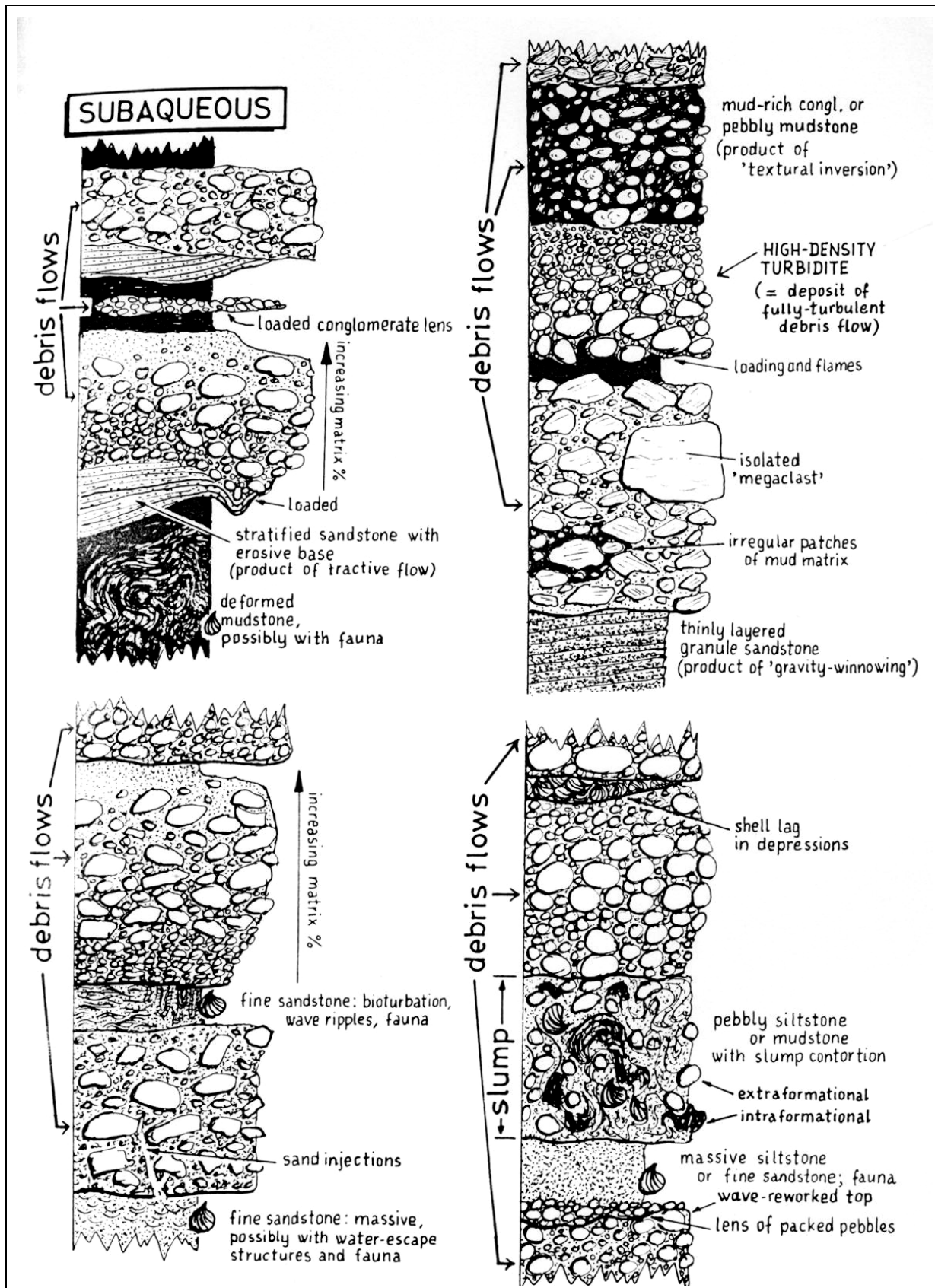


Abb. 3-18 Charakteristika verschiedener Arten von subaquatischen Debris Flows
(aus NEMEC & STEEL, 1984).

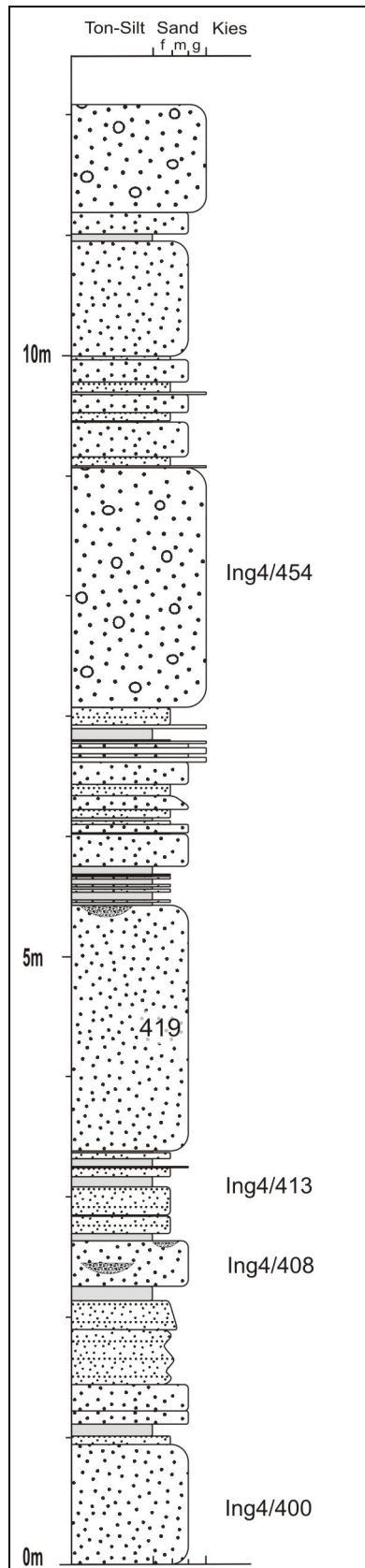


Abb. 3-19 Profil des aufgeschlossenen Bereiches von Ingering 4.

3.3.2 Ingering 4 - Übergang zu sandiger Sedimentation

ÖK 50, Blatt 161, RW: 559 692; HW: 232 713, Sh.: 698 m

In diesem Aufschluss ist der Übergang zu größeren Serien markant zu sehen. Es dominieren Fein- bis Grobsande, die teilweise noch Lamination erkennen lassen, oder auch teilweise in Linsen und Rutschstrukturen abgelagert sind. Wiederum sind die Sande sehr muskovitreich, bestehen vornehmend aus Quarzkomponenten und sind mit Pflanzenhäckseln vermischt. Die Linsen sind bis zu 2 m breit und mit Mittelsand und reichlich Pflanzenresten gefüllt, die eine flachere Schichtung als die des umgebenden Gesteins vermuten lässt. Weiters sind auch karbonatisch zementierte erosionsbeständige Partien im Profil vorhanden.

Das Top des Profils Ingering 4 wird von den bei POLESNY (1970) beschriebenen Jüngeren Deckenschottern (sind nicht in Abb. 3-19 dargestellt) gebildet, die eine Mächtigkeit von geschätzten 4,5 m aufweisen. Die Reste dieses Niveaus sind nur mehr am N-Rand des Fohnsdorfer Beckens (E/W des Ingeringbaches und E im Verbindungsgebiet zum Seckauer Becken) erhalten. Das Material stammt aus den Seckauer Tauern (POLESNY, 1970). Es wird als interglaziale Ablagerung des Riss oder jünger eingestuft.



Abb. 3-20 Überblicksfoto des Prallhanges von Aufschluss Ingering 4.

3.3.2.1 Interpretation

Dieser lithologische Wechsel repräsentiert den Faziesübergang zur Deltafront, deren Sande Richtung Becken vorrückten. Die Sandlinsen und wellige Tops mancher Schichten lassen auf kleine Rinnen schließen, die nur kurzzeitig aktiv waren. Die flachere Schichtung in den Linsen lässt erosives Einschneiden in den Untergrund vermuten.

In Schicht 419 (Profil Abb. 3-19) fallen einige gröbere Partien auf, die aufgrund ihrer Verfaltung als kleinmaßstäbliche Rutschungen gedeutet werden können, bzw. Aufschiebungen mit cm-Versatz gebildet haben.

3.3.3 Ingering 5 - Schrägschichtung

ÖK 50, Blatt 161, RW: 559 823; HW: 232 548, Sh.: 700 m



Abb. 3-21 Überblicksfoto von Aufschluss Ingering 5.

Dieser Aufschluss ist durch eine Abfolge von Sanden und Kiesen gekennzeichnet, die über ca. 5 m ungeschichtet sind, dann aber von großformatigen 2 bis 3 m mächtigen Schrägschichtungssets abgelöst werden. Als Komponenten treten Quarz und Biotit auf. Andeutungen von Schichtung beschreiben Kohlebändchen, die aus Pflanzenhäckseln bestehen. Teilweise sind auch Kieslinsen, die auf Rinnenbildungen hinweisen, zu beobachten. Die Ablagerung der grobkörnigen Sedimente wird durch diskordantes Auflagern von grauen, laminierten Tonen abgeschlossen. In diesen Peliten sind 2 Tuffitschichten zwischenlagernd aufgeschlossen (Nr. 533 und 539). Sie sind durch ihre bläulich-orange Verwitterung zu erkennen.

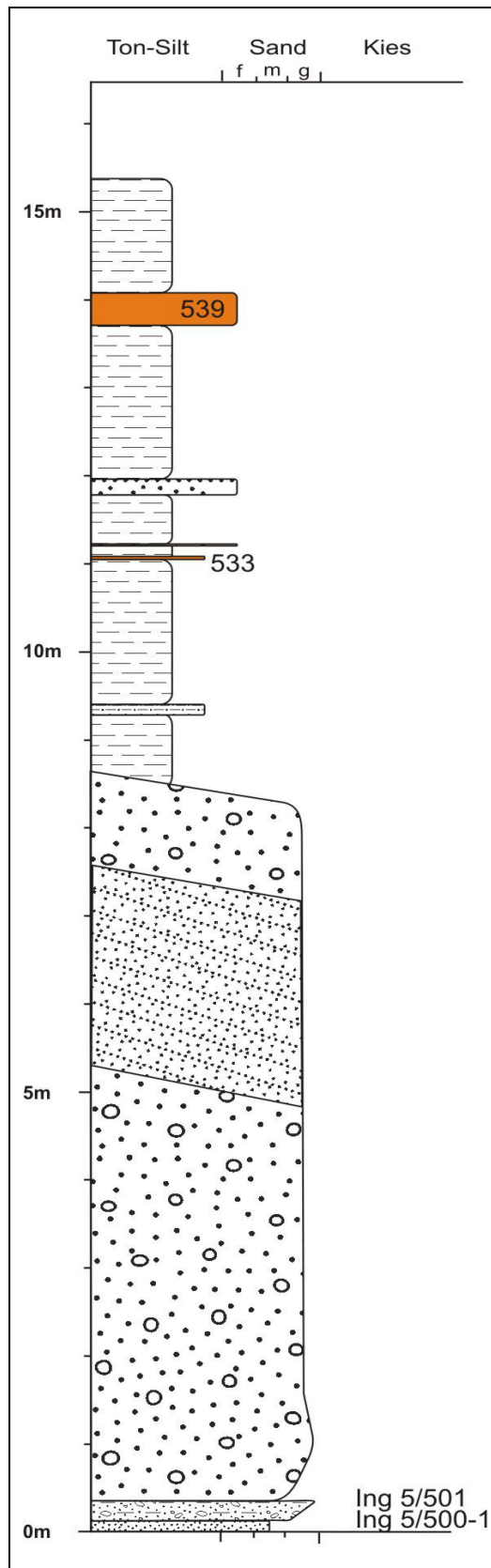


Abb. 3-22 Profil des aufgeschlossenen Bereiches von Ingering 5.

3.3.3.1 Interpretation

Dieser Bereich repräsentiert den distalen Bereich einer Deltafront mit *Foreset Bedding*, charakterisiert durch die schräggeschichteten Sande. Die zwischengeschalteten Tone zeigen das unregelmäßige Progradieren der Deltafrontbereiche bzw. einzelne Loben des Deltas an.

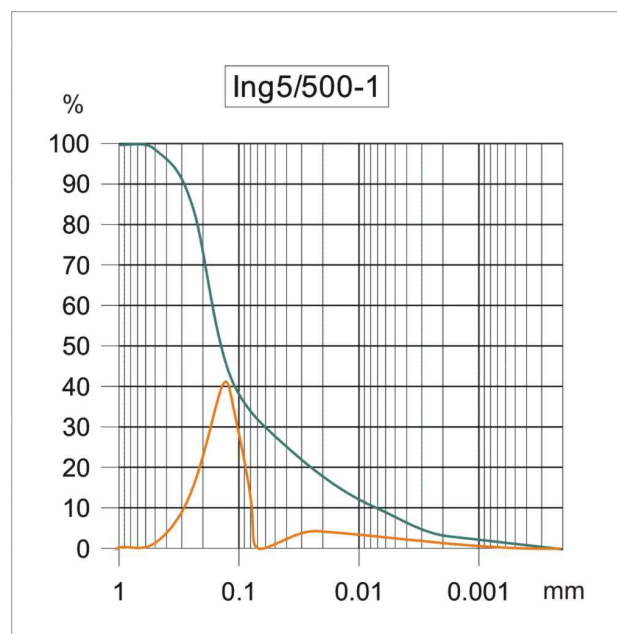


Abb. 3-23 Kornsummenkurve und -verteilung, Ingering 5 (Nr. 500-1).

Die Korngrößenanalyse zeigt im Vergleich zu den tiefer liegenden Sedimenten ein deutliches Größerwerden der Abfolge. Bei den darüber liegenden Sanden konnte aufgrund des hohen Anteils an Kohlschmitzen keine Korngrößenanalysen durchgeführt werden.

3.3.4 Baugrube Spielberg

ÖK 50, Blatt 161, RW: 559 135; HW: 232 048, Sh.: 770 m

Beim Grubenaushub für einen Hausbau im Jahr 2001 wurde ein neuer Aufschluss der Ingering-Formation für kurze Zeit freigelegt, der jetzt im Zuge des Hausbaus wieder verfüllt ist. Die Sedimente dieses Aufschlusses sind zum hangenden Teil der Ingering-Formation zu zählen und mit den Peliten von Ingering 6 zu vergleichen.

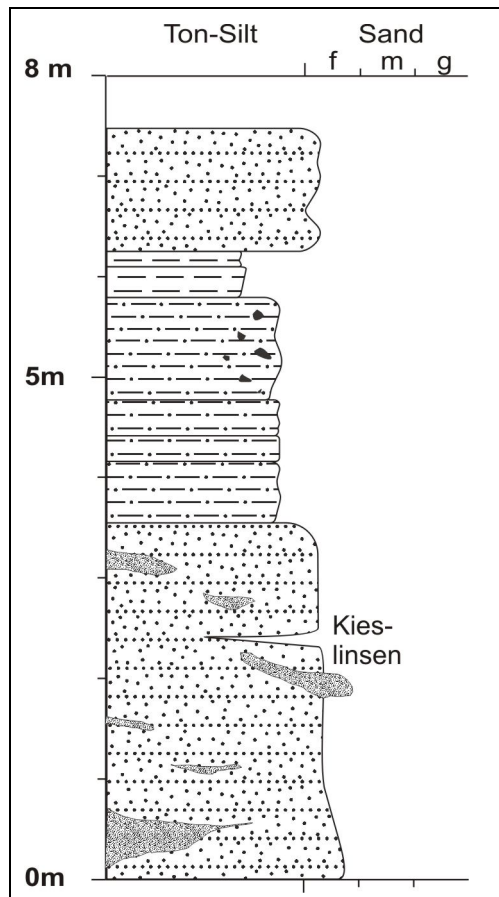


Abb. 3-24 Profil Baugrube Spielberg.



Abb. 3-25 Baugrube Spielberg

Das 7, 4 m mächtige Profil (siehe Abb. 3-24) beginnt mit einer Abfolge aus grauen Tonen, in die Kiestaschen eingebettet sind. Diese Kieskomponenten sind, so wie am Ingeringbach, bis zu 5 cm groß und bestehen aus Quarz, Grünschiefern und Amphiboliten. Sie sind gerundet und weisen keinerlei Internstrukturen auf. Es folgen weiters Zwischenschaltungen von Feinsandlagen und Kiesen, doch dominant sind auch hier die blaugrau verwitternden Tone. Im hangenden Teil treten in den Schichten knollige Fe-reiche (rostbraune Verwitterung) Konkretionen, die einen Durchmesser von 3-10 cm haben, auf.

3.3.5 Sillweg

ÖK 50. Blatt 161, RW: 553 700; HW: 232 150, Sh.: 770 m

Im Profil von Sillweg sind in einem Hohlweg Teile der Fohnsdorf und der Ingering-Formation aufgeschlossen, die aus Breccien, Kohle, Brandschiefer und Mergel bestehen. Weiters kommen noch einige Congerienlagen dazu, die allerdings wegen der Überbauung heute nicht mehr zu finden sind. Es ist nur mehr die Abfolge von grauen Mergeln gut aufgeschlossen. POLESNY (1970) zählt die ehemals freigelegenen Congerien zu seinen als Congerienbank II bezeichneten Schichten. Bezüglich der eckigen Kristallinklasten weisen sie makroskopisch große Ähnlichkeiten mit den an der Ingering gefundenen Congerienlagen auf. Mikroskopisch betrachtet schwimmen Congerenschalen in einer

Matrix aus feinkörnigem Ton, der Andeutungen von Lamination aufweist und in dem sich kleine rekristallisierte Quarzkörner befinden.

3.3.6 Bohrung Gabelhofen

In der Bohrung Gabelhofen wurden die Ingering-Formation und die darunter liegende Fohnsdorf-Formation bis in eine Tiefe von 1075 m erbohrt (vgl. SACHSENHOFER et al., 2000a). Beim darunter angetroffenen Basement wurde die Bohrung bei 1200 m beendet. Die Ingering-Formation beginnt bei ungefähr 800 m Tiefe über dem Fohnsdorfer Kohleflöz, wo in den ersten 300 Metern (800-500 m) vorwiegend tonige Sedimente angetroffen wurden. Zwischen 700 und 750 m sind zwei Bentonithorizonte (vgl. POLESNY, 1970) zwischengeschaltet. Darüber ist ein kontinuierliches Ansteigen des Sandanteiles gegenüber der Tonkomponente zu beobachten. In den obersten 250 m wechseln einander schließlich sandige Konglomerate und tonige Lagen ab. Abgeschlossen wird die Bohrung von 38 m quartärer Schotter im Hangenden (WEISS, 2002).

Die mineralogische Zusammensetzung der feinkörnigen Anteile der Abfolge wird von Tonmineralen, Illit/Muskovit, Smektit und Chlorit, Quarz, Feldspat, hauptsächlich Plagioklas, und von Calcit dominiert (SACHSENHOFER et al., submitted 2002).

Die geochemischen Ergebnisse zeigen hier bei 600 m (Liegendes der Ingering-Formation) ein Umschlagen des TOC/TS Verhältnisses (*Total Organic Carbon/Total Sulfur*) von marin-brackischen Verhältnissen zu lakustrinen Bedingungen. Das spricht für eine Aussüßung des Beckens, die mit der deutlichen Kornvergrößerung im Bohrprofil korreliert (WEISS, 2002).

3.3.7 Bohrung Weißkirchen

In einer Tiefe von ungefähr 900 m beginnt das Bohrprofil mit sandigen Schottern (vgl. SACHSENHOFER et al., submitted 2002). Darüber folgen wechsellagernde Sande und Tone, die von sandigem (800-700 m) und darüber von tonigem Material (700-370 m) dominiert sind. In 740 m Tiefe findet sich eine Bentonitlage. Bis zur Überlagerung quartärer Schotter bei 37 m folgen grobkörnige Einschaltungen von sandigen Schottern.

3.4 Korngrößenuntersuchungen

Bei den Korngrößenanalysen wurde darauf geachtet, aus jeder Fazies mindestens 4 repräsentative Proben zu untersuchen. Die Ergebnisse in Form von Kornsummenkurven und -verteilungen sind in Anhang 1 zu finden.

3.4.1 Klassifikation der Lithologien im ternären Shepard-Diagramm

Um zur Klassifikation der Sedimente Aussagen zu erhalten, wurden die untersuchten Proben in das ternäre Diagramm von SHEPARD (1954) geplottet. Insgesamt ist das Diagramm in zehn Klassen unterteilt, bei denen die Eckpunkte jeweils 100 % der Komponenten an Ton, Silt und Sand darstellen. Der Ton, Silt und Sandanteil der Proben wurde jeweils quantifiziert und eingetragen, wobei die Aufschlüsse mit verschiedenen Signaturen versehen wurden.

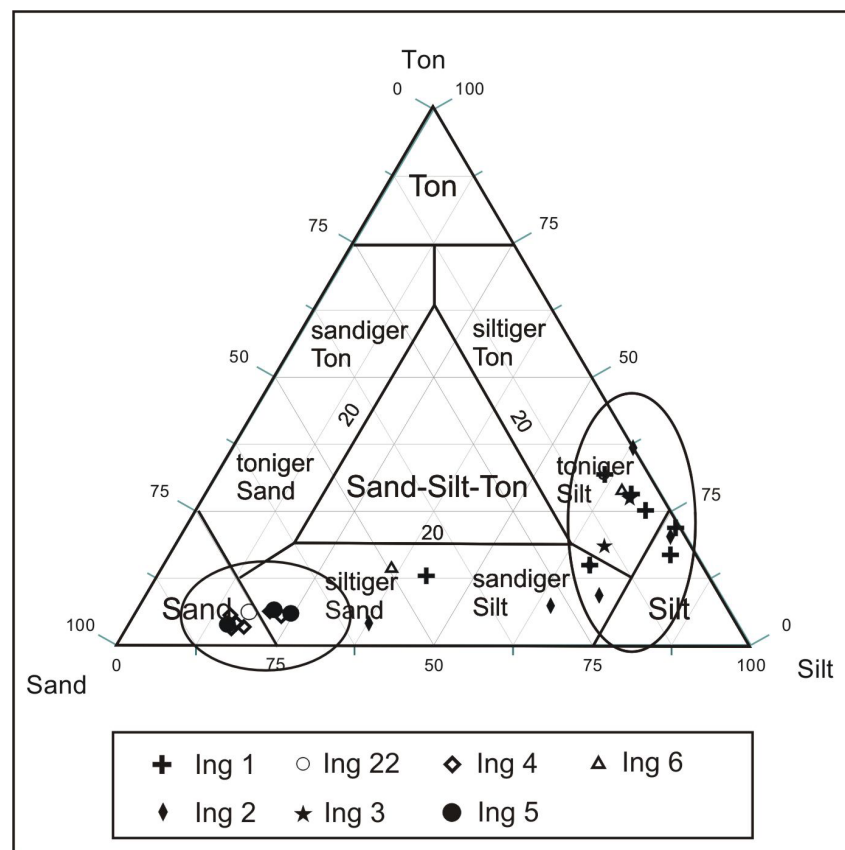


Abb. 3-26 Klassifikation der Korngrößenuntersuchungen nach SHEPARD (1954). Plot jeder untersuchten Probe mit deren Ton, Silt und Sandanteil (in %).

Es lassen sich zwei Provinzen unterscheiden: Ein von Silt, untergeordnet von Ton, dominierter Bereich (toniger Silt, Silt, sandiger Silt) und eine sandige Gruppe (siltiger Sand, Sand). Die eher feineren Sedimente sind in den Aufschüssen Ingering 1-3 vorhanden, ab Aufschluss Ingering 4 findet der Wechsel zu gröberen Sedimenten statt, und in Aufschluss Ingering 6 ist wiederum ein Feinerwerden bestätigt, was auf das laterale Wandern des Deltakomplexes bzw. von Deltaloben zurückzuführen sein kann.

3.4.2 Momentstatistik

Für die Bestimmung der deskriptiven Korngrößenparameter wurden Methoden der „Momentstatistik“ verwendet. Nach MARSAL (1967) werden alle Korngrößenfraktionen verwendet, wodurch die Ergebnisse repräsentativer sind als bei der alleinigen Anwendung graphischer Methoden.

		Proben	x	σ	α_3
<u>Arithmetisches Mittel (mean)</u>		Ing1/D	7,5	1,1	-0,2
$x = (q_1 \cdot x_1 + q_2 \cdot x_2 + \dots + q_n \cdot x_n) / 100$		Ing1/A2	6,6	1,9	-0,8
		Ing1/A2	6,4	1,8	-0,6
		Ing 1/12	7,1	2,0	-0,6
<u>Standardabweichung (standard deviation)</u>		Ing1/13	7,4	2,1	-0,5
$\sigma = \sqrt{[q_1(x_1-x)^2 + \dots + q_n(x_n-x)^2]} / 100$		Ing1/18-1	7,4	2,1	-0,5
		Ing 1/78	5,7	1,9	0,1
		Ing1/106	7,1	2,0	-0,5
		Ing2/200	7,8	2,2	-0,5
<u>Momentkoeffizient der Schiefe (skewness)</u>		Ing2/200	7,2	2,0	-0,5
$\alpha_3 = \sqrt[3]{[q_1(x_1-x)^3 + \dots + q_n(x_n-x)^3]} / 100\sigma^3$		Ing2/224-1	5,7	1,7	0,3
		Ing2/224-2	5,5	1,6	0,2
		Ing2/282	8,0	2,3	-0,5
		Ing2/298a	4,6	1,6	0,1
		Ing22/2208	3,8	1,9	0,2
x	Arithmetisches Mittel	Ing3/335	7,2	2,0	-0,5
σ	Standardabweichung	Ing3/335	6,4	1,8	-0,7
α_3	Schiefe	Ing4/400	4,7	2,3	0,1
		Ing4/400	3,4	1,9	0,2
x_n	Kornklassenmittelpunkt (in Phi)	Ing4/413	3,8	2,1	0,1
		Ing4/413	3,3	1,8	0,2
q	prozentuelle Häufigkeit d. Kornklasse	Ing4/454	4,6	1,9	0,1
		Ing4/454	3,9	1,8	0,2
		Ing5/500-1	4,9	2,2	0,1
		Ing5/500-1	4,2	1,8	0,2
		Ing 5/501	4,1	2,1	0,1
		Ing6/600	7,4	2,1	-0,6
		Ing6/609	5,3	1,6	0,2

Tab. 3-2 Ergebnisse der Momentstatistik.

3.4.2.1 Standardabweichung

Dieser Parameter wird verwendet, um die Sortierung der Sedimente zu bestimmen. Die Sortierung wird nach FRIEDMAN (1962) in folgende Klassen unterteilt:

Phi-Einheiten	Sortierung	
< 0,35	very well sorted	vws
0,35 – 0,50	well sorted	ws
0,50 – 0,80	moderately well sorted	mws
0,80 – 1,40	moderately sorted	ms
1,40 – 2,00	poorly sorted	ps
2,00 – 2,60	very poorly sorted	vps
> 2,60	extremely poorly sorted	eps

Die Sortierung bei den Sedimenten des Ingering-Typusprofils schwankt durchschnittlich im Bereich von 1-2. Diese schlechte bis sehr schlechte Sortierung ist sowohl in den Abschnitten der feinen Sedimente (laminierte Pelite des Prodeltas) als auch in den Teilen gröberer Ablagerungen (Sande der Deltafront) zu sehen und zeigt den eher unreifen Charakter der Sedimente der Ingering-Formation.

3.4.2.2 Kombination der Momentparameter

Die graphische Darstellung und Korrelation der verschiedenen Momentwerte kann für eine Faziesinterpretation herangezogen werden. Nach einer Arbeit von FRIEDMAN (1979) können im speziellen Sande verschiedener Ablagerungsräume identifiziert werden. Dies wurde beim Ingering-Profil mit der Gegenüberstellung von Sortierung zu arithmetischem Mittel und Sortierung zu Schiefe von Sanden der Deltafront versucht. Diese Darstellung ermöglicht eine Abgrenzung von Fluss- und terrigenen Sanden. Die Abbildungen 3-28 und 3-29 zeigen die Diagramme nach FRIEDMAN (1979). Leider sind sie in diesem Fall nicht aussagekräftig, weil der Transport der Ingering-Sande vermutlich zu kurz war und somit die Sortierung zu schlecht für eine Interpretation ist.

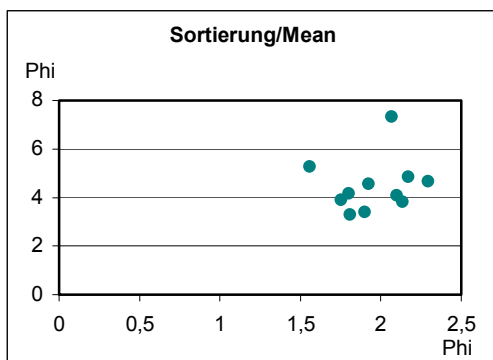


Abb. 3-27 Korrelation von Sortierung und arithmetischem Mittel.

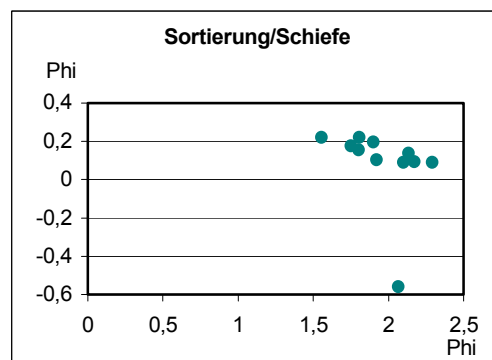


Abb. 3-28 Korrelation von Sortierung und Schiefe.

Als weitere Gegenüberstellung der Daten wurden Median bzw. arithmetisches Mittel gegen die jeweilige Lage (Faziesbereich) der Probenpunkte im Profil gegeneinander aufgetragen. Die Diagramme in Abb. 3-29 und Abb. 3-30 zeigen das *Coarsening Upward* der Abfolge deutlich.

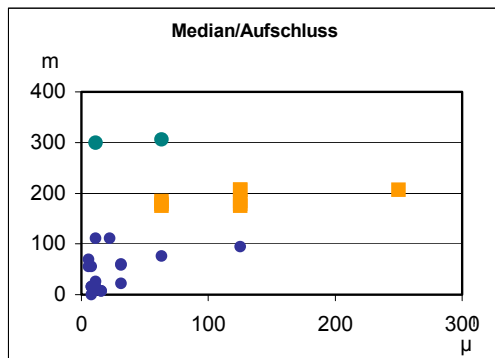


Abb. 3-29 Korrelation von Median und Lage der Probenpunkte (in m, 0 m bei Profilbeginn).

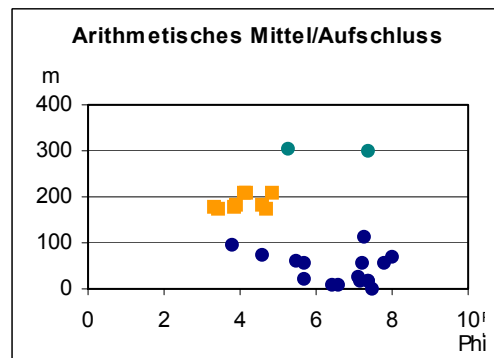


Abb. 3-30 Korrelation von arithmetischem Mittel und Lage der Probenpunkte (in m).

Blaue Kreise = Ingering 1-3, orange Vierecke = Ingering 4-5, grüne Kreise = Ingering 6.

3.4.3 CM-Diagramm

Das CM-Diagramm von PASSEGA (1957; 1964; PASSEGA & BYRAMJEE, 1969) ermöglicht die graphische Zuordnung von Kornverteilungen zu Ablagerungsmilieus. Im Diagramm wird der grobe 1 % Wert (C) mit dem 50 % Wert, dem Median (M), korreliert. Nach rezenten Ablagerungsräumen bestimmt, sind Bereiche verschiedenster Sedimentationsmilieus und Transportarten definiert. Je nach Lage der entstehenden Punktwolken kann dann auf Ablagerungsraum und -art geschlossen werden. PASSEGA (1964) unterscheidet ursprünglich 7 Felder und später erfolgt eine Erweiterung auf 9 Klassen (PASSEGA & BYRAMJEE, 1969):

Einteilung des CM-Diagramms in 9 Klassen

I, II, III, IX $C > 1$

vorwiegend rollender Transport der Körner; wenig Suspensionssedimentation oder eine geringe Transportweite

IV, V, VI, VII $C < 1$

vorwiegend Suspensionstransport; rollend transportierte Körner < 1 mm können vorhanden sein.

V, V, VI, VII *Transport in gradierter Suspension*

IV hochenergetischer Bereich (high turbulence)

V mittlerer Energiebereich (moderate turbulence)

VII niedrigenergetischer Bereich (low turbulence)

VII Transport in homogener Suspension

VIII *Transport in homogener und pelagischer Suspension*

Diese spätere Erweiterung des Diagramms auf 9 Klassen erleichtert mit den ausgewiesenen Feldern die Zuordnung zu bestimmten Transportbereichen. Die bei der Projektion entstehenden Punktwolken und das dabei gebildete Verteilungsmuster wird für die Interpretation herangezogen. In Abb. 3-31 sind die Median- und 1 %-Werte geplottet.

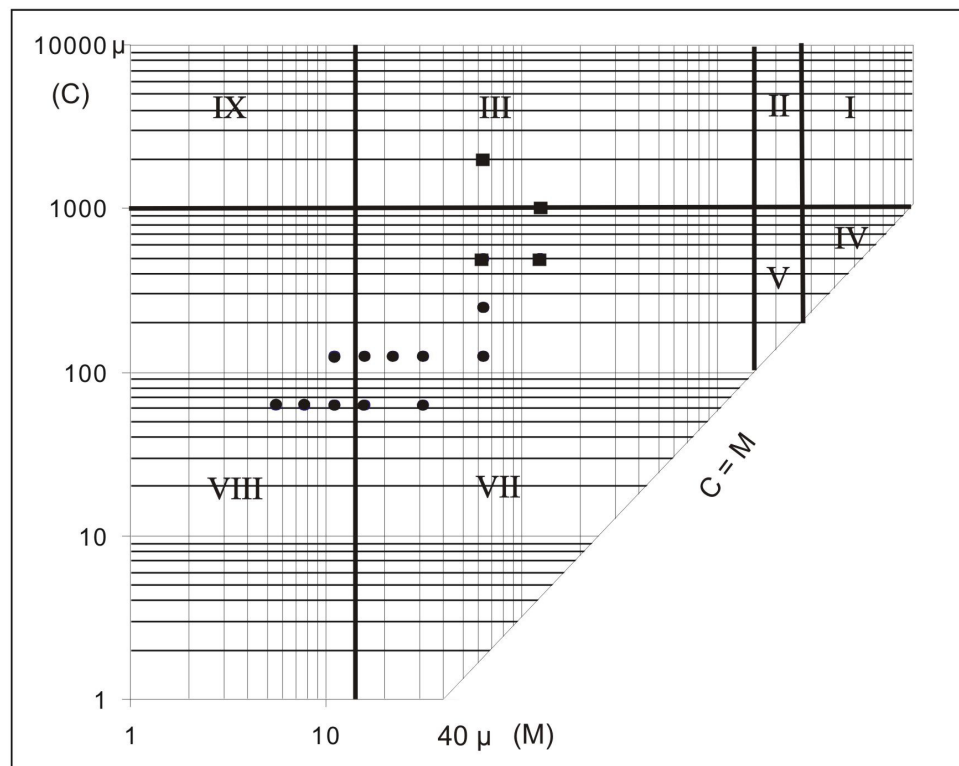


Abb. 3-31 CM-Diagramm nach PASSEGA & BYRAMJEE (1969), Punkte entsprechen den pelitischen Sedimenten und Rechtecke repräsentieren die Deltasande.

Die pelitischen Sedimente fallen in Feld VII (Transport in homogener Suspension), was dem ruhigen Ablagerungsmilieu eines Sees entspricht. Die schon im Feld VII (Transport in homogener und pelagischer Suspension) gelegenen Tone sprechen für tieferes Wasser und ruhige Ablagerungsbedingungen. Da die Werte im oberen Bereich liegen (PASSEGA, 1964) ist pelagische Sedimentation aus der Suspension auszuschliessen. In Feld III fallen die Proben der gröberen Partien, die einen rollenden Transport erfahren haben.

3.5 Schwermineralanalysen

Für Schwermineralanalysen wurden 14 Proben untersucht, die über das ganze Profil verteilt sind. Bei den Proben handelt es sich um Fein- bis Mittelsande, deren 0,063-0,125 mm-Fraktion mittels Schwereflüssigkeit (Tetrabromethan, Dichte = 2,97 g/cm³) getrennt wurde. Anschließend wurden die Proben als Streupräparate verarbeitet und unter dem Polarisationsmikroskop ausgezählt (mind. 200 Stück durchsichtige Minerale). Alle Ergebnisse in graphischer Form sind im Anhang 2 zu finden.

3.5.1 Ergebnisse

Probe/Mineral	Ing1/12	Ing1/20	Ing13/1308	Ing2/250	Ing2/272	Ing2/280	Ing2/298a	Ing22/2208	Ing4/408	Ing4/454	Ing5/500-1	Ing5/500-2	Ing5/501	Ing6/609
Epidot	0	5	0	24	14	9	0	0	0	0	0	0	0	0
Klinozoisit	0	0	0	20	25	24	0	0	0	0	0	0	0	0
Amphibol grün	2	13	0	2	1	0	3	2	4	3	2	0	0	0
Amphibol farblos	0	12	0	6	4	8	1	1	4	2	5	3	2	0
Apatit	13	32	8	23	8	18	4	15	4	1	1	19	6	50
Zirkon	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rutil	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Turmalin	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	19
Granat	81	34	89	24	48	34	88	82	85	84	87	76	81	31
Pyroxen	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Erz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0
unbekannt	0	0	3	0	0	6	3	0	2	9	2	0	8	0

Tab. 3-3 Ergebnisse der Schwermineralanalyse, Angaben in Prozent.

Zusammenfassend lässt sich über den Mineralbestand folgendes sagen:

- Im Schwermineralspektrum sind bei den durchsichtigen Phasen vor allem Granat und Apatit vorherrschend.
- Die Granate sind im allgemeinen sehr eckig bis angerundet. Die Farbe ist durchsichtig, manchmal schmutzig grau und die angerundeten Stücke sind blassrosa.
- Die Apatite sind angerundet bis gut gerundet, manche von ihnen zeigen hexagonale Basalflächen. Ihre Interferenzfarben sind schwach mit Grau- bis Hellblautönen. Manchmal sind auch opake Einschlüsse in den Mineralen zu beobachten.
- Die Amphibole sind oft an ihrem typischen Spaltwinkel von 120° zu erkennen und weisen Zonarbau auf.

- Epidot und Klinozoisit sind bei einigen Proben anzutreffen. Die Epidote sind durchsichtig gelblich und weisen hohe Interferenzfarben auf.
- Die nicht gewerteten Minerale, wie opake Phasen, Biotit, Chlorit dominieren in den meisten Aufschlüssen. Durch ihre hohe Anzahl waren es bei einer Proben nicht möglich, eine Auswertung durchzuführen (Ing4/413).

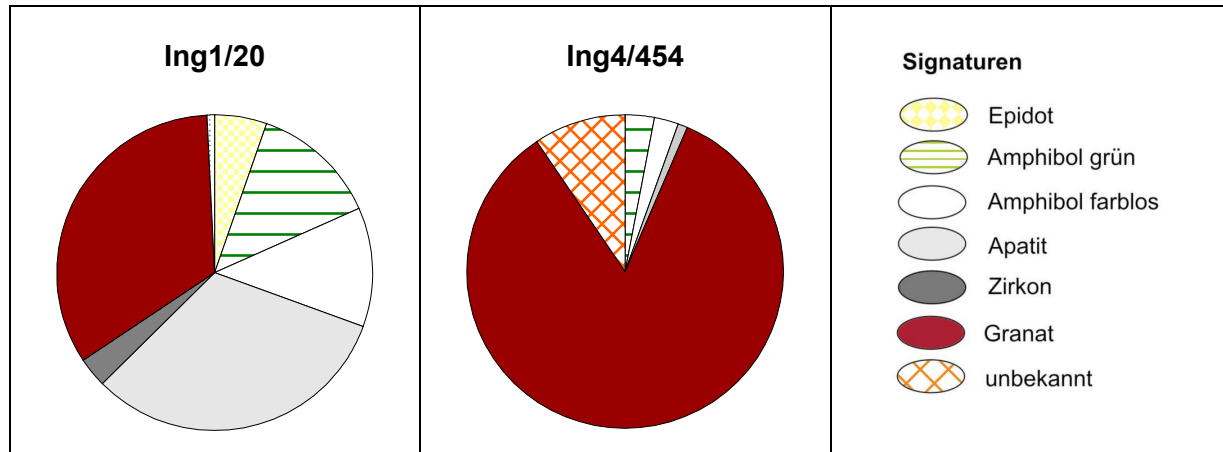


Abb. 3-32 Schwermineralverteilung (in %), Proben von Aufschluss Ingering 1 und 4.

3.5.2 Interpretation

Bezüglich eines möglichen Liefergebietes kann vermutet werden, dass die Schüttung des Sediments aus dem Gebiet des Wölzer- und Rappolt-Komplexes stammt. Diese Zonen beinhalten Granat-Glimmerschiefer, die das Ausgangsgestein für den Sedimenteintrag darstellen können (pers. Mitteilung, SCHUSTER, 2003). Aufgrund des hohen Gehaltes an Granat kann darauf geschlossen werden.

Die vorwiegend eckigen Mineralformen zeigen auch einen kurzen Transportweg und keine Aufarbeitung älterer Sedimente an, was auch durch die schlechte Sortierung der Sedimente belegt ist.

Gegen Schüttungen direkt aus Norden aus den Seckauer Tauern spricht das Fehlen von Zirkonen, die bei Sediment aus dieser Richtung zu vermuten wäre.

4 Tektonik und Deformation

4.1 Lagerungsverhältnisse

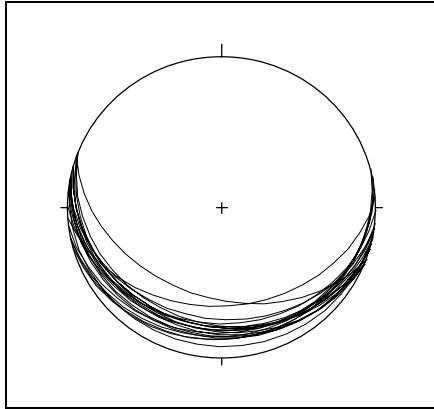


Abb. 4-1 Einfallen der Schichten Richtung S.

Die Sedimente der Ingering-Formation fallen durchschnittlich mit Werten von 188/20 Richtung Süden (Beckenmitte) ein. Generell wurden sie auf einem flach geneigten Hang abgelagert, der während der Halbgrabenphase steiler gestellt und weilers Richtung S verkippt worden ist (STRAUSS, 2000). Das einheitliche Einfallen der Schichten im aufgeschlossenen Bereich ist ein Indiz dafür, dass während der Sedimentation keine Deformation in Form von Rotation oder Verkipfung stattgefunden hat.

Die Darstellung der Lagen auf der nebenstehenden Abbildung erfolgte auf der unteren Halbkugel des Schmidt'schen Netzes.

4.2 Spröde Strukturen

In den Sedimenten des Ingering-Typusprofils sind immer wieder Harnischflächen zu sehen, die von einigen Dezimetern bis zu einer Länge von ca. 4 m reichen. Es handelt sich um glatt polierte Flächen, auf oft sehr schlecht Lineare zu erkennen sind. Schersinnkriterien wurden keine gefunden. Somit sind die Aussagen bezüglich dieser strukturellen Elemente begrenzt. Eine im Höhenmodell zu vermutende E-W streichende Störung am Nordrand (pers. Mitteilung, STRAUSS, 2000) ist ebenfalls in den Sedimenten nicht ersichtlich gewesen. Nach einer persönlichen Mitteilung von MAURITSCH (2001) ist sie auch durch geophysikalische Untersuchungen der Sedimente nicht feststellbar gewesen. Wahrscheinlich handelt es sich bei dieser markanten morphologischen Lineare um den Kontakt zwischen Sediment und Kristallin.

4.3 Soft Sediment - Strukturen

Diese Deformationsstrukturen sind hauptsächlich in Aufschluss Ingering 1, wo einander Congerenschichten und Pelitlagen abwechseln, zu finden. Einige andere Strukturen sind zudem in Aufschluss Ingering 4 anzutreffen.

4.3.1 Boudinagen – Pinch and Swell Structures

Die Schichten der wechsellagernden Pelite und Congerien weisen unterschiedliche Mächtigkeiten (mm-m-Bereich) auf und sind oft nicht über den gesamten Aufschluss kontinuierlich zu verfolgen. Sie sind entweder unterbrochen oder keilen zur Gänze aus.

Am spektakulärsten ist das Durchreißen (*Boudinage*) der mächtigsten hangenden Congerienlage (Nr. 119). *Boudinagen* sind auch in kleinerem Maßstab in den dünneren Congerienlagen zu finden. Diese Schichten sind nicht komplett zerrissen, sondern nur ausgedünnt.

Es sind dies *Pinch and Swell Structures*, bei denen die ansatzweise zerrissenen Partien als *Necks* bezeichnet werden. *Pinch and Swell Structures* sprechen im Unterschied zu *Boudinagen* für einen geringeren Kompetenzunterschied der Lagen. Die resultierenden Platzprobleme sind durch die Platznahme der unterlagernden Pelite gelöst, die die Zwischenräume ausfüllen. In diesem Bereich fallen Scherflächen auf, die wegen ihres geringen Versatzes das Aussehen kurzfristig aktiver Überschiebungen haben. Auffallend ist, dass diese Flächen alle nach NW einfallen (303/39).



Abb. 4-2 Boudinage von Congerienlage
Nr. 119.

Abb. 4-3 Verfaltete Congerenschichten.

4.3.2 Falten und Slumps

Die dünneren, feinkörnigen Congerienlagen sind abschnittsweise verfaltet, wobei viele der Axialebenen nach N bis NW einfallen.

Neben den überkippten Falten kommen auch ptygmatisch gefaltete Congerienlagen vor.



Abb. 4-4 Kohle mit verfaltetem Ton.

In Congerienlage Nr. 119 sind drei gut erhaltene, inkohlte Wurzelstöcke aufrecht einsedimentiert. In der Kohle sind tonig-sandige Lagen mit 1 mm Dicke vorhanden, die zu ptygmatischen Falten ausgebildet sind. Es können dies keine deformationsinduzierten Falten sein, da die Wurzeln keinerlei Verformung aufweisen. Eine mögliche Hypothese wäre, dass es sich um Sediment handelt, das noch vor der Kohlebildung eingeschwemmt wurde, das dann aufgrund des Flüssigkeitsverlustes und Schrumpfen der Wurzeln während der Diagenese verfaltet wurde.

4.3.3 Rotierte Klasten

In den Congerenschichten kommen neben den mineralischen und biogenen Komponenten auch Kristallinbrocken vor, bei denen die Kantenlänge von 1 cm bis zu maximal 24 cm variiert. Bei diesen Kristallinklasten handelt es sich um eckige Gneise, Mylonite und Quarzite, die regellos im Sediment eingebettet sind. Bei manchen ist zu beobachten, dass sich Tonschichten an zwei Seiten an die Klasten „anschniegen“, bzw. von diesen unterbrochen werden. Diese Strukturen kann man im weitesten Sinn als δ -Klasten bezeichnen.



Abb. 4-5 Mylonitischer Klast – Für die Modellierung und Quantifizierung der Deformation herangezogen.

Die Bezeichnung wird in der Literatur für Porphyroklasten in dynamisch rekristallisierten Gesteinen verwendet, wobei die Benennung auf die deltaähnliche Form der umgebenden *Wings* zurückgeht. Diese sind Rekristallite, die sich während der Deformation aus der Außenschicht eines Porphyroklasten als weicher Saum um diesen bilden. Bei fortschreitender Deformation wird der weiche Saum zerschert und gestreckt (PASSCHIER & SIMPSON, 1986). BONN et al. (1997) haben nachgewiesen, dass sich deltaförmige *Wings* nur dann bilden können, wenn der Klast anschließend rotiert wird.

In dieser Arbeit wurde im speziellen ein 14 x 24 cm großer, trapezoedrischer Mylonitklast untersucht, der am Top von Congerienlage Nr. 107 eingebettet und von Tonsäumen umgeben ist (siehe Abb. 4-5). Diese Säume zeigen dieselbe Geometrie wie die rekristallisierten *Wings* bei Porphyroklasten duktil deformierter Gesteine. Es ist deswegen anzunehmen, dass dieser Klast ebenfalls im Zuge von Deformation rotiert worden ist.

Das Kristallinbruchstück kam während seiner Ablagerung als Komponente eines *Debris Flows* an dessen Oberkante zu liegen und wurde anschließend von einer tonigen Schicht überdeckt, die aufgrund von *Soft Sediment* Deformation gestreckt und zerrissen wurde.

In der Literatur werden ähnliche (rotierte) Strukturen auch im Mittleren/Oberen Muschelkalk in Deutschland erwähnt, aber nicht näher beschrieben (KNAUST, 2001).

4.4 Modellierung und Quantifizierung der Deformation

Eine Modellierung erlaubt die Simulation verschiedenster Entwicklungen unter definierten Rahmenbedingungen, deren Ergebnisse mit natürlichen Prozessen verglichen werden und einen Rückschluss auf deren Entstehung oder eine Vorhersage auf kommende Abläufe geben.

Numerische Modellierungen, die auf der Finiten Element Methode (FEM) basieren, erlauben quantitative Aussagen über das untersuchte Phänomen. Allgemein ist FEM ein numerisches Verfahren zur Lösung mathematisch formulierbarer Feldprobleme (BROCKHAUS, <http://www.brockhaus.de>).

4.4.1 Das Finite Element Programm BASIL

Bei BASIL handelt es sich um eine Modellierungssoftware (BARR & HOUSEMANN, 1992, 1996), die auf Basis der Finiten Elemente Methode (FEM) arbeitet, d.h. die Vorgehensweise orientiert sich nach mathematischen bzw. geometrischen Parametern, die ein Modell einer realen Gegebenheit nachbilden und deren Ablauf simulieren.

BASIL berechnet das Deformationsverhalten verschiedener Rheologien in verschiedenen Spannungsregimes in zwei Dimensionen. Dies dient der numerischen Modellierung und Quantifizierung der Deformation. Neben den mathematischen Parametern werden die Resultate auch graphisch anschaulich dargestellt.

Das Modellierungsprinzip beruht auf der Definition von Bedingungen, die das Deformationsfeld steuern. Diese Parameter sind die Geometrie der Scherzone, die rheologischen Gegebenheiten und die Geschwindigkeits-Randbedingungen.

Die Berechnung erfolgt in Einzelschritten (*Incremental Timesteps*), von deren Anzahl die Dauer des Rechenvorganges abhängt. Weiters können vom Anwender Abbruchbedingungen definiert werden, falls vor Erreichen des nächstfolgenden Inkrements unrealistische Werte erzeugt werden oder die Lösungen nicht konvergieren.

4.4.1.1 Geometrie

Das Prinzip der Scherzone beruht auf der Annahme eines Vierecks mit einem variablen Längen-Breiten-Verhältnis. Dieses ist wiederum proportional zu seinen Abmessungen unterteilt, sodass ein engmaschiges Netz mit definierten Triangelpunkten entsteht. Die Größe des Vierecks muss sinnvoll gewählt werden, denn nach ihr und der Festlegung der aufzunehmenden Zeitinkremente richtet sich die Deformationsgeschwindigkeit. Da BASIL mit dimensionslosen Parametern arbeitet, ist es unwichtig, genaue Informationen über die tatsächlichen rheologischen Beschaffenheiten zu wissen. Zum Beispiel genügt die Annahme einer (relativ) 100x härteren Lithologie des Klasten im Vergleich zur Matrix. In einem Artikel von BARR & HOUSEMANN (1996) ist die Anwendung mit dimensionierten Parametern zu finden, welche in dieser Arbeit übernommen wurden.

Die rechte Seite der Scherzone ist mit der linken numerisch verbunden, sodass die Stress- und Deformationskomponenten auch über die Grenzen hinaus kontinuierlich verlaufen können.

Zum besseren visualen Verständnis der Geschehnisse können horizontal verlaufende passive Markerlinien (*Passive Marker Lines*) eingefügt werden. Sie bestehen aus anfänglich kleinen (Einheits-) Kreisen mit einem Mittelpunkt. Nach der Deformation geben die Elliptizitäten den *Strain* an, während die Verbindungslinien der Mittelpunkte den Markerlinien entsprechen.

4.4.1.2 Rheologie

Da es sich bei den verwendeten Rheologien um linear viskose Medien handelt, wird davon ausgegangen, dass der *Stress* proportional zur *Strain Rate* ist. Es gilt daher:

$$(1) \quad \tau_{ij} = 2\eta \cdot \varepsilon_{ij}$$

τ_{ij} deviatorischer Anteil des *Stress* Tensors
 ε_{ij} Komponenten des *Strain Rate* Tensors
 η Viskosität

Die Komponenten ij beziehen sich auf die zwei Raumrichtungen (x,y), die in Kartesischen Koordinaten angegeben sind. Die *Strain Rate* ist durch diese Koordinaten und durch die Geschwindigkeit u definiert.

$$(2) \quad \varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} [\delta u_i / \delta x_j + \delta u_j / \delta x_i]$$

BASIL berechnet *Plane Strain*-Deformation unter Verwendung von Gleichung (1) und der „*Force Balance*-Gleichungen“ in zwei Dimensionen:

$$(3) \quad \delta / x_j \cdot \tau_{ij} + \delta / x_i \cdot p = 0 \quad p \quad \text{Druck}$$

Nach jedem Zeitinkrement werden die Geschwindigkeit des verstrichenen Inkrements (*Step Velocity* u) und der Druck p auf jedem Triangelpunkt registriert und gespeichert.

4.4.1.3 Boundary Conditions

Die *Displacement Boundary Conditions* an der Basis und am Top der zu modellierenden Scherzone, sind durch den Geschwindigkeitstensor (*Velocity Tensor* L) definiert. Für die Untersuchung wurden Geschwindigkeitstensoren für verschiedene *Flow* Geometrien verwendet, die durch die gleiche *Stretching Rate* (S) über das gleiche Zeitinkrement hindurch gekennzeichnet sind. Die Komponenten des *Velocity Tensors* können über die *Kinematic Vorticity Number* (W_k) und den Extensionsbetrag (*Stretching Rate* S) berechnet werden.

Die *Kinematic Vorticity Number* (W_k) wird durch den jeweiligen *Flow Type* gesteuert und ist vom Winkel (Cosinus) zwischen den Eigenvektoren (Linien, die während der Deformation nicht rotieren) abhängig. Daraus folgt für reinen *Simple Shear* $W_k = 1$ und für reinen *Pure Shear* $W_k = 0$.

4.4.2 Anwendung von BASIL

Die Anwendung eines finiten Element Modells kann nicht nur Ergebnisse über das Verhalten oder die Entstehung von Strukturen geben, sondern es lassen sich, je nach Ergebnis, weiterführende Schlüsse in bezug auf zusammenhängende Prozesse, ziehen.

Die Methode wurde in diesem Fall angewandt, um Aussagen über das Deformationsverhalten eines, in Relation zum Nebengestein, sehr harten Klasten zu erhalten. Wie das Ergebnis gezeigt hat, lässt es weitere (quantitative) Interpretationen über Sedimentation und Diagenese im weitesten Sinn zu.

Für die Untersuchung wurde der bereits beschriebene 14 x 24 cm große mylonitische Klast herangezogen. Da BASIL auch mit dimensionslosen Parametern rechnet und über die Gesteinseigenschaften keine exakten Werte bekannt sind, wurde der Kristallinklast als *Rigid Clast* mit einem Viskositätsverhältnis in Bezug zum umgebenden Soft Sediment der Scherzone von $\eta_1/\eta_2 = 1000$ festgelegt. Die Scherzone ist ein Rechteck mit Kantenlängen im Verhältnis 2:1, das aus einem engmaschigen Netz von Linien aufgebaut ist, deren Schnittpunkte mathematisch definiert sind und deren Verhalten während der Deformation ausschlaggebend für die Berechnung ist. Proportional zur realen trapezoedriscen Form des Klasten wird ein viereckiger Körper nachempfunden und in das Modell der Scherzone eingefügt. Das Modell des Initialstadiums ist in Abb. 4-6 dargestellt.

Die Größe der Scherzone und die Inkremente müssen so gewählt werden, dass sie realistische *Strain Rates* ergeben. Die Ingering-Formation wurde während eines Zeitraumes von ca. 2 Ma Jahren abgelagert (SACHSENHOFER et al., submitted 2002). Die angenommenen Parameter (Form der Scherzone, Rheologieverhältnis) entsprechen einer realistischen *Strain Rate* für diesen Zeitabschnitt ($\sim 10^{-14}$).

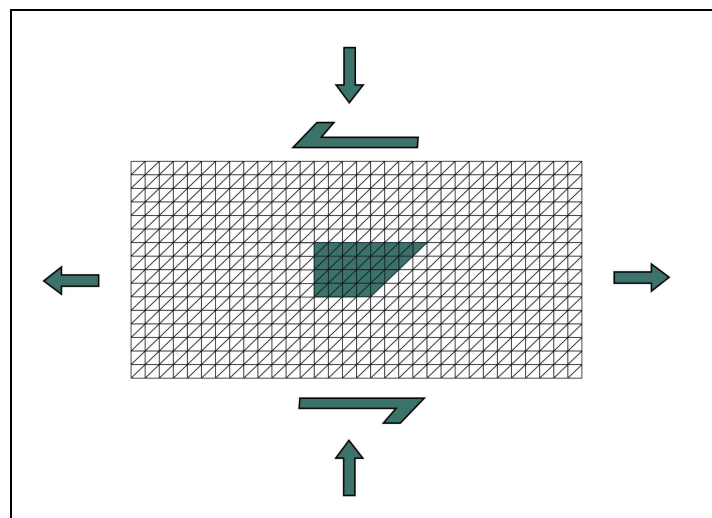


Abb. 4-6 Initialstadium – Rechteck 1:2, ohne passive Marker.

In Abb. 4-7 werden ausgewählte Inkremente des Deformationsablaufes gezeigt. Die Ergebnisse der Schritte werden mathematisch über *Kinematic Vorticity Number* (W_k) und den Deformationstensor (nicht in Abb. 4-7) angegeben. Die graphische Darstellung beinhaltet das deformierte Rechteck in Relation zur Form der initialen Scherzone, die Veränderung des finite Elemente Netzes und/oder der Verlauf der passiven Markerlinien.

Aufgrund der Form (*Stepping*) der realen *Wings* wird das Modell unter Annahme einer Scherzone mit sinistralen Schersinn gerechnet.

4.4.3 Ergebnis der Modellierung

In Abb. 4-7 ist das Verhalten des Kristallinklasten bei veränderten Deformationsgeometrien graphisch dargestellt:

- Bei *Flow Types* mit hoher *Simple Shear*-Komponente ($W_k = 1$ und 0,97, Abb. 4-7(1,2)) rotiert der Klast in Scherrichtung. Abb. 4-7(1) zeigt das Endglied von reinem *Simple Shear* mit $W_k = 1$. Die Markerlinien in der Matrix verformen sich an der oberen rechten und linken Ecke des Klasten konvex nach oben.
- Bei $W_k \sim 0,87$ (Abb. 4-7 (3)) kommt es zum Stillstand des Klasten, bzw. Einregelung seiner längsten Achse parallel zum Scherzonenrand. *Simple* und *Pure Shear Spins* sind ausgeglichen und das führt scheinbar zu keiner Deformation.
- Bei Abb. 4-7(4,5,6) dominiert der Anteil von *Pure Shear* ($W_k < 0,87$). Das Ergebnis ist ein Rotieren des Klasten gegen die Scherrichtung. Abb. 4-7(7) zeigt das Endglied von reinem *Pure Shear* mit $W_k = 0$. Verglichen mit Abb. 4-7(1,2) zeigen die passiven Markerlinien ein gegensätzliches Verhalten. Sie schmiegen sich an der oberen Kante des Klasten konkav nach oben an diesen.

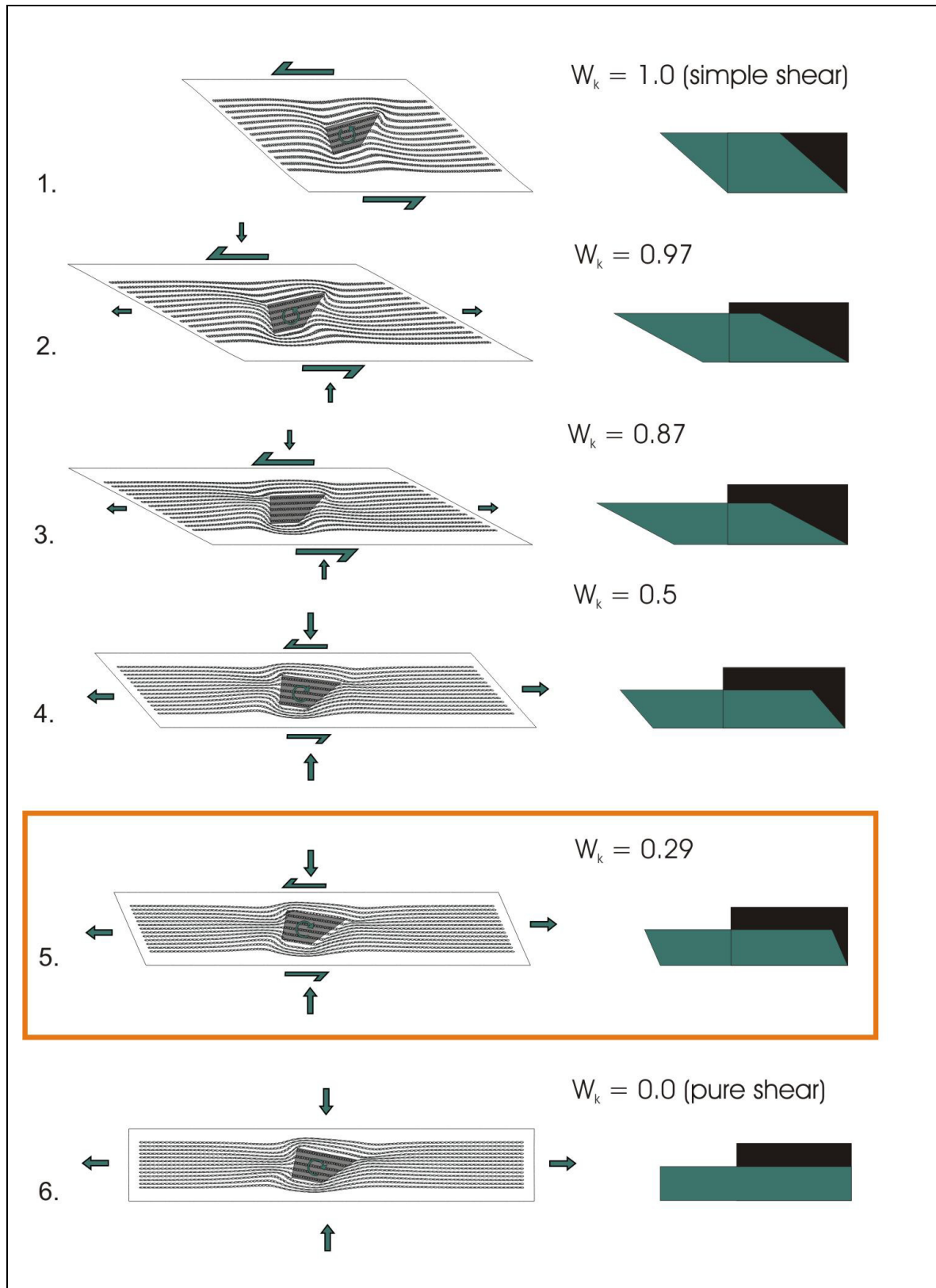


Abb. 4-7 Ergebnisse der Modellierung (Rotationsrichtung des Klasten) bei verschiedenen Deformationsgeometrien inklusive der Endglieder bei *Simple* (1.) und *Pure Shear* (7.). Simple Shear > Pure Shear: Rotation in Scherrichtung; Simple Shear ~ Pure Shear: scheinbar keine Rotation; Simple Shear > Pure Shear: Rotation gegen Scherrichtung. Die umrahmte Darstellung ist das Ergebnis, dass mit den natürlichen Gegebenheiten übereinstimmt.

4.4.4 Vergleich und Interpretation der Modellierung

Bei der Interpretation wird einerseits auf die Ergebnisse eingegangen und andererseits ein Vergleich mit den realen Gegebenheiten angestellt.

Das wichtigste Ergebnis ist die Abhängigkeit des Rotationsverhaltens des Klasten vom jeweiligen *Flow Type*. Bei Dominanz des *Simple Shear*-Anteils kommt es zum co-rotieren, sind die beiden Komponenten nahezu ausgeglichen, erfolgt keine Rotation und bei Überwiegen von *Pure Shear* bewegt sich der Klast gegensätzlich zur Scherrichtung. Dieser Verlauf ist allerdings auch von der Form des Klasten abhängig.

Die Beobachtung des Verhaltens der passiven Markerlinien ist insofern wichtig, weil diese mit der Form der den Klasten umgebenden *Wings* verglichen werden können.

Beim Vergleich mit der Realität ist zu erkennen, dass das Modell des bei Dominanz von *Pure Shear* erzeugten Bildes mit dem Aussehen des Kristallinklasten übereinstimmt. Die lange Achse ist gegen den Schersinn geneigt und die pelitischen *Wings* sind konkav nach oben ausgebildet.

Somit ergibt sich der Schluss, dass die non-koaxiale Deformation im Aufschluss Ingering 1 von *Pure Shear Flow* dominiert war. Es ergibt sich demnach eine Streckung des Sedimentstapels parallel und eine Verkürzung normal zur Schichtung. Verglichen mit den übrigen Deformationsstrukturen, wie etwa den *Boudinagen* der kompetenten Congerenschichten, ist die Extensionskomponente plausibel. Dass nicht alle Congerenschichten boudiniert sind, ist auf die geringere Kompetenz der dünneren Schichten im Vergleich zu den mächtigeren zurückzuführen, die dementsprechend weniger stark durchtrennt sind.

Weiterführend lässt sich sagen, dass die *Pure Shear* dominierte Deformation in der Ingering-Formation vor allem durch voranschreitende Sedimentüberlagerung und Kompaktion gesteuert wurde. Die Berechnungen zeigen, dass die ursprüngliche Dicke des Sedimentpaketes während der Deformation um mehr als 30 % reduziert wurde.

Die dünneren, feinkörnigen Congerienlagen sind abschnittsweise verfaltet, wobei viele der Axialebenen nach Norden einfallen. Eine Interpretation wäre die Entstehung noch vor oder während der mächtigen Überlagerung. Rutschungen können die Ursache für die überkippten Falten sein, zumal es sich um einen, um einige Grad geneigten Untergrund einer Deltafront handelte, auf dem die Sedimente abgelagert wurden.

Die scheinbaren Aufschiebungen im Bereich der *Necks* sind das Resultat der Extension mit gleichzeitigem synthetischen Versatz durch Rotation. Die Einregelung der *Necks* Top S ist als Nachweis einer (sinistral) scherenden Komponente als Teil der Deformation zu sehen. Zum Beispiel zeigen FARRELL & EATON (1987) in ihrer Arbeit die Entstehungsdynamik von Deformationsstrukturen in Rutschungen von einigen Metern bis hin zu Bewegungen im km-Bereich. Sie beschreiben unter anderem Kreidesedimente, Marmor, Sande und Lignite bzw. Wechsellagerungen dieser. Viele der dünneren Lagen (bis 3 m) weisen aufrechte bis geneigte und/oder überkippte isoklinale Falten auf. Es wurde auch beobachtet, dass die Faltenschenkel der flachen geneigten Falten boudiniert sind. Das Vorhandensein von *Boudinagen* in manchen

Rutschungen indiziert Kompetenzunterschiede der verschiedenen Lagen. Die Autoren führen die Boudinagen auf progressive *Simple Shear* dominierte Deformation zurück, im Laufe derer die Materiallinien, die im Extensionsfeld des inkrementellen Strain Ellipsoids (RAMSAY, 1967) liegen, gestreckt werden. Obwohl sich die steilen Schenkel von asymmetrischen Falten normalerweise im kompressiven Spannungsfeld zu entwickeln beginnen, kann es vorkommen, dass sie während der progressiven *Simple Shear* Deformation und aktivem *Buckling* ins extensionale Spannungsfeld des finiten Strain Ellipsoides einrotieren können (RAMSAY & KLIGFIELD, 1983). Die Autoren stellen ein Entwicklungsschema für die Rutschfaltungen auf: Das erste Bildungsstadium der Falten erfolgt unter lagenparalleler Verkürzung und nach *Pure Shear* dominierter Deformation entwickelt sich eine *Simple Shear*-Komponente. *Simple Shear*-Spannungen sind typisch für Rutschkörper, die durch Entwässerungsprozesse gesteuert werden, weil die Scherspannung des Sedimentkörpers eine Funktion des Porenwasserdruckes darstellt.

Aus den hier beschriebenen Ergebnissen wurde die Entwicklung der Deformation und Sedimentation in der Ingering-Formation in einem graphischen Schema zusammengefasst, das in Abb. 4-8 zu sehen ist.

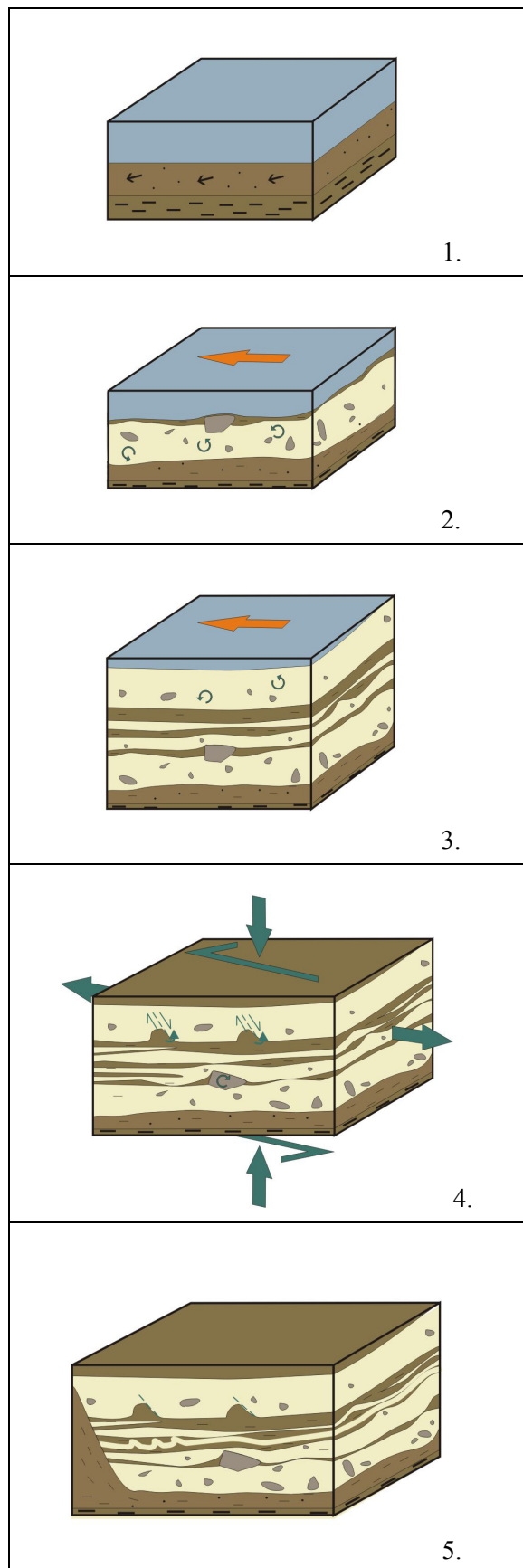


Abb. 1 zeigt die ruhige Sedimentation der Tone im „Ingering-See“ (SACHSENHOFER et al., submitted 2002). Die Pfeile deuten gelegentliche Strömungsrippel und Sandtransport an.

In Abb. 2 ist die anschließende eventgebundene Ablagerung des ersten mächtigen Congerien-*Debris Flows* dargestellt. Die Pfeile sollen den Übergang zu turbiditischem Transport anzeigen.

Darauf folgend (Abb. 3) lagern sich die nächsten Congerierschichten als *Debris Flows* in Wechsellagerung mit Peliten der ruhigen Sedimentation ab.

Abb. 4: Durch die Auflast und Kompaktion des Sedimentpaketes werden die unterschiedlich kompetenten Gesteine deformiert. Es entstehen Boudinagen, scheinbare Aufschiebungen und es kommt zu Rotationen der eingelagerten Kristallinklasten.

Abb. 5 zeigt das heutige Erscheinungsbild nach erfolgter Deformation in Aufschluss Ingering 1.

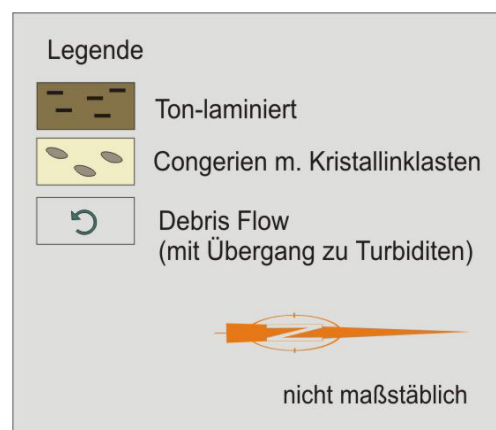


Abb. 4-8 Deformationsschema der Ingering-Formation.

5 Paläomagnetische Messungen

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Geophysik der Montanuniversität Leoben war es möglich, paläomagnetische Messungen an den feinkörnigen Sedimenten der Ingering-Formation durchzuführen. Im Typus-Profil wurden die Aufschlüsse Ingering 1 und 3 beprobt. Im liegenden Abschnitt von Ingering 1 umfasst das untersuchte Profil die Schichten Nr. P-AH (~ 1,5 m) und in Ingering 3 die Lagen Nr. 306-315 (~ 1 m). Die Ergebnisse der jeweiligen Aufschlüsse wurden nach der Analyse gemittelt.

5.1 Abmagnetisierung im Wechselfeld

Es wurden insgesamt 15 Proben im Wechselfeld abmagnetisiert, wobei die natürliche remanente Magnetisierung (NRM) erfasst wird. Die Ergebnisse wurden im Zijderfeld-Diagramm geplottet, aus dem unter anderem Deklination und Inklination abgelesen werden können.

5.2 AMS (*Anisotropie der magnetischen Suszeptibilität*)

Bei dieser Methode wird die unterschiedlich hohe Suszeptibilität der Probe in den 3 Raumrichtungen ermittelt, was Rückschlüsse auf vorangegangene geologische Ereignisse erlaubt.

Die Messung erfolgt nach dem Prinzip, dass die Intensität der Magnetisierung (I) an jedem beliebigen Punkt eines Körpers proportional zur Feldstärke des angelegten Feldes (H) ist. Der Proportionalitätsfaktor zwischen I und M wird als magnetische Suszeptibilität bezeichnet. Sie kann auch als „Magnetisierbarkeit“ eines Körpers angesprochen werden.

$$I = K \cdot H \quad K \dots \text{magnetische Suszeptibilität (Proportionalitätskonstante)}$$

Die Höhe der Suszeptibilität ist Grundlage für die Länge der Vektoren, um die Strainellipsoide (bzw. Anisotropie-Ellipsoid) gespannt werden. Die Verteilung der Formen dieser Ellipsoide wird z.B. mittels Flinn-Plot (FLINN, 1962) oder Hrouda-Diagramm (HROUDA et al., 1971) statistisch ausgewertet. Die Ellipsoide werden prolate und oblate Formen unterteilt. Bei der statistischen Auswertung kann man dann Rückschlüsse auf das Maß an Deformation ziehen, die das Gestein erfahren hat.

5.3 Ergebnisse

Die Messungen haben ergeben, dass das hauptsächliche Trägermineral der Magnetisierung Magnetit (Fe_3O_4) ist. Die Proben von Ingering 1 ergeben eine westliche Vektorrichtung mit steiler Inklination und jene von Ingering 3 eine nördliche Richtung mit flacher Inklination. Die erhaltenen Richtungsmittelwerte der beiden Punkte liegen 90° voneinander entfernt, womit diese Ergebnisse nicht geologisch/tektonisch interpretiert werden können.

Die mittlere magnetische Suszeptibilität (K) für die Proben Ingering 1 beträgt $81 \cdot 10^{-6} \text{ SI}$ und für Ingering 3 $225 \cdot 10^{-6} \text{ SI}$.

Die magnetischen Gefüge sind durch eine schwache Foliation (F) bei fast völlig fehlender Lineation (L) geprägt, wie es für ruhige Sedimentationsbedingungen zu erwarten ist.

Das Anisotropie-Ellipsoid zeigt aber Foliationsebenen, die deutlich von der Schichtfläche abweichen.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass sowohl das magnetische Gefüge, als auch die Magnetisierungsrichtungen durch synsedimentäre Rutschungen oder post-sedimentäre Störungen verändert sind. Doch ohne die Ursachen der Störungen (tektonische Verstellung, Blitzschlag etc.) zu kennen, sind die beiden Aufschlüsse paläomagnetisch nicht verwertbar (pers. Mitteilung, SCHOLGER, 2003).

6 Entwicklung der Ingering-Formation

Die Ablagerungen der Ingering-Formation sind ein gutes Beispiel eines progradierenden Deltas in einen See, dessen Geometrie durch die Bildung und Tektonik eines *Pull-apart* Beckens gesteuert wird (z.B. LAMBIASE, 1990). Es handelt sich hierbei um ein Flussdelta, das durch den Eintrag von Ton, Silt und Sand, durch einen flachen Gradienten und durch kurzzeitige Katastrophenereignisse charakterisiert ist. Die Ablagerungsmuster repräsentieren meist langanhaltende gleichbleibende Ablagerungsmilieus, die nur längerfristigen Änderungen durch Deltaprogradation und Lobenverlagerung unterliegen (READING, 1998).

Flussdeltas im allgemeinen werden durch den unterschiedlich starken Einfluss des Flusssystems und der Beckenprozesse klassifiziert. Es werden einerseits flussdominierte Deltas (*River dominated Delta*), *Tide-Wave Interaction Deltas*, wellendominierte Deltas (*Wave dominated Delta*) und gezeitendominierte Deltas (*Tide dominated Delta*) unterschieden (READING, 1998). Natürlich sind die meisten Typen in den Übergangsbereichen zu finden. Die Klassifikation kann noch um eine Einteilung nach der Korngröße (ORTON & READING, 1993) erweitert werden, wo die meisten Ablagerungssysteme in den Ton-Silt-Sand-Bereich fallen. Eine genaue Zuordnung der Sedimente findet sich in Kap. 3.4.

Bei den verschiedenen Faziesbereichen wird einerseits, nach morphologischen Kriterien, von Deltaplattform (*Delta Platform*), charakterisiert durch einen flachen Gradienten, mit teils subaerischen, teils subaquatischen Ablagerungen, weiters vom *Delta Slope* mit einem relativ steilen Gradienten und vom Prodelta, dessen Sedimente wiederum an einem leicht geneigten Relief zur Ablagerung kommen, gesprochen. Andererseits existiert eine auf Ablagerungsprozessen basierende Terminologie, die dann verwendet werden sollte, wenn die sedimentären Faziesbereiche eindeutig unterschieden werden können. Die *Delta Plain* ist eine große subaerische Zone, die durch Flüsse dominiert wird. Die Deltafront beschreibt eine Zone der Interaktion zwischen fluviatilen und becken gesteuerten Prozessen. Darauf folgt beckenwärts das Prodelta, die Zone ruhiger Sedimentation, die einzig durch Hanginstabilitäten gestört werden kann.

Die erhaltenen Abfolgen des liegenden Teiles der Ingering-Formation sind demnach Prodelta-sedimente des distalen Bereichs, charakterisiert durch eine stabile Zone, in der tonig-siltiges Material aus Suspension zur Ablagerung kommt, was zur Ausbildung von Laminationen führt. Diese wird im dysoxischen Milieu (SACHSENHOFER et al., submitted 2002; WEISS, 2002) erhalten. Oft kann es vorkommen, dass laminierte Schichten von Flutereignissen oder *Soft Sediment Failure* aus hangenderen Bereichen des Deltas unterbrochen werden (READING, 1998). Zum Hangenden hin ist der Übergang zu Ablagerungen der Deltafront zu beobachten, was sich in der deutlichen Kornvergrößerung und Progradation in Form von Schrägschichtungen bemerkbar macht. Die erodierten Teile der Ingering-Formation, vor allem im Seckauer Becken, stellen den proximalen Teil des Prodeltas bzw. der *Delta Plain* dar.

Die Prodeltafazies gibt Aufschluss über die Tiefe, Salinität, physikalische Aktivität und den Sauerstoffgehalt des Beckens und gleichzeitig gibt sie Aussagen über den Ablagerungsmodus der Sedimente (READING, 1998:197). Dieses Becken wird als ein ca. 150 km² großer See

(„Ingering See“) mit einer Tiefe von einigen hundert Metern (~ 600 m) interpretiert (SACHSENHOFER et al., submitted 2002). Die südliche und östliche Begrenzung des Sees stimmt mit den Abschiebungen im Süden und Osten überein. Im Westen erreichte er eine weit größere Erstreckung als die heutige Beckengrenze. Diese wurde erst durch eine postsedimentäre *Flower Structure* gebildet (SACHSENHOFER et al., 2000b; STRAUSS et al., 2001). Im Norden sind die angrenzenden Kristallinkomplexe Grenze und auch Liefergebiet der abgelagerten Sedimente (Schwerminerale siehe Kap. 3.4). Es wird angenommen, dass zur Zeit der Ablagerung der Ingering-Formation der Kristallinrücken, der eine Trennung der beiden Becken während der Halbgrabenphase verursachte, noch nicht existierte (STRAUSS et al., 2001).

Zudem beschreibt POLESNY in seiner Arbeit (1970) einen Congerienhorizont im Seckauer Becken, der nach Entfernung der durch die Halbgraben-Phase induzierte Deformation mit dem Congerienhorizont im Fohnsdorfer Becken korreliert werden kann (STRAUSS, 2000).

Die Entwicklungsgeschichte der Fohnsdorfer Kohle und der Ingering-Formation (siehe Abb. 6-1) kann folgendermaßen gegliedert werden.

1. Initialstadium

Moor-Konzentrierte Ablagerung von organischem Material.

2. Marin-Brackisches Stadium

Sapropelitablagerung, Deltaprogradation: Ablagerung der Sedimente bei flacher Hangneigung, Congerien-*Debris Flows*-Kompaktion-*Soft Sediment* Deformation.

3. Süßwasserstadium

Deltaprogradation-Verfüllung des Ingering-Sees.

4. Endstadium

5. Postsedimentäre Deformation

Kippung der Schichten (~ 20°) aufgrund Halbgrabenphase.

1. Initialstadium: Im Anfangsstadium des Ingering-Sees (Unteres Badenum, Übergang Fohnsdorf zur Ingering-Formation, Abb. 5-1, 1.), bei subtropischen klimatischen Bedingungen lagerten sich in seichtem Wasser noch reichlich organisches Material und in der Folge Sapropelite des tiefen Wassers ab. Dies zeigt das Fohnsdorfer Kohleflöz mit einer maximalen Mächtigkeit von 12 m am Nord- und Westrand an. Geochemische Untersuchungen der Fohnsdorf- und Ingering-Formation (Gabelhofen Thermal 1, SACHSENHOFER et al., submitted 2002; WEISS, 2002) ergaben brackische Bedingungen während der Sedimentation. Unter anderem wurde dies anhand des TOC/TS-Verhältnisses (*Total Organic Content/Total Sulfur*), das eine Unterscheidung zwischen unter marinen oder brackisch Bedingungen abgelagertem Material möglich macht, und anhand von $\delta^{13}\text{C}$ Isotopen Daten (GRUBER & SACHSENHOFER, 2001) bewiesen. Diese Untersuchungen ermittelten auch die Herkunft des organischen Materials. Daraus ergibt sich, dass die Vegetation des tief liegenden Moores von Gymnospermen dominiert war. Biomarker in Form langkettiger Kohlenwasserstoffe, die auf das Vorhandensein von Angiospermen hinweisen, finden sich erst in den sapropelischen Tonschiefern. Die brackischen Bedingungen wurden durch tektonische Aktivität entlang der Störungen im Süden des Beckens ausgelöst (STRAUSS, 2000), die eine zeitweise

Verbindung mit dem marinen Lavanttalbecken ermöglichten (STRAUSS et al., 2001). Zudem ist ein Zusammenhang zwischen dem Meeresspiegelanstieg im Unteren Badenum (Obere Lageniden Zone, TOLLMANN, 1985) zu sehen, der auch durch die erhöhte Salinität unterstrichen wird (SACHSENHOFER et al., submitted 2002).

2. Brackisch-Marines Stadium: Definitionsgemäß endet die Kohlebildung mit dem Beginn der Ingering-Formation (Unteres oder Mittleres Badenum, Abb. 5-1, 2.). Die Konservierung von organisch reichem Material wird durch eine höhere Subsidenzrate und das damit verbundene Tieferwerden des Sees unterbunden und bedingt ein Ertrinken des Moores. Die Sapropelite der Bohrung Gabelhofen und des Aufschlusses Sillweg sind Repräsentanten dieses Stadiums. Es sind dies vor allem kalkreiche Tonschiefer und Mergel, die durch einen hohen Smektitgehalt, der vulkanischen Ursprungs (Bentonitlagen im Fohnsdorfer Kohleabbau) ist (SACHSENHOFER et al., submitted 2002), gekennzeichnet sind. Diese Verhältnisse treffen im Ingering-Typusprofil noch auf den nördlichsten Aufschluss (Ingering 1) zu. Der brackische Anteil des Ingeringprofils ist wesentlich geringmächtiger (bis Ingering 2, ca. 400 m) als jener der südlich gelegenen Bohrung Gabelhofen. Damit zeigt sich der Rückzug des marin-brackischen Ablagerungsraumes Richtung Süden.

Während der ruhigen Sedimentation kommt es immer wieder zu kurzfristigen Ereignissen, die Schüttungen der Congerien-*Debris Flows* aus dem Seichtwasser auslösen. Bei einem der ersten solcher Ereignisse wird die mächtige Pelitabfolge von einer 1 m mächtigen Congerienbank (Aufschluss Ingering 1) unterbrochen. Durch die Auflast wird das unterlagernde Tonpaket kompaktiert. Der Übergang von massiger Textur zu normaler Gradierung lässt den Schluss zu, dass der *Debris Flow* im Laufe seines Transportes seine Eigenschaften hin zu einem *High Density Turbidite* geändert haben muss. Dafür sprechen auch stark zerbrochene Congerienindividuen. Später folgte ruhigere Sedimentation und es kam zum Absetzen von Schwebstoffen des vorangegangenen Events. Feine, gut zementierte Pelitlagen wurden abgelagert. Kristallinklasten, die am *Top* dieses *Debris Flows*, durch Aufschwimmen zur Ablagerung kommen, werden von Tonlagen umhüllt. Es gibt keinerlei Erosionshorizonte, sodass gesagt werden kann, dass die Congerienbänke kurzfristige Unterbrechungen der Pelitablagerung waren.

Die Auslöser der *Debris Flows* können Erdbeben, Hochwasser oder außergewöhnlich starke Stürme gewesen sein.

Über der Pelit- und Congerienwechsellagerung unterbricht ein zweites großes Ereignis die ruhige Sedimentation und löst die Schüttung eines *Debris Flow* aus: Die nächste mächtige Congerienbank, mit einer Dicke von bis zu 3 m wird abgelagert. Auch sie folgt den gleichen Ablagerungsmechanismen wie die erste.

POLESNY (1970) unterteilt in seiner Arbeit den Fohnsdorfer Muschelkalk in Congerienbank I und II. Erstere sieht er als mögliches Dach des Kohleflözes des Fohnsdorfer Abbaus, wobei jetzt bekannt ist, dass die Congerien nicht immer direkt über der Kohle folgen, bzw. teilweise nicht auftreten. Diese unregelmäßige Verteilung und Schichtvarianz bestätigt die Interpretation als *Debris Flow*. POLESNY erkennt auch Faziesänderungen zur Beckenmitte hin. Im Bergbau Fohnsdorf sind sie weniger oft anzutreffen und haben auch geringere Mächtigkeiten (ca. 20 cm). Somit kann eine ungefähre

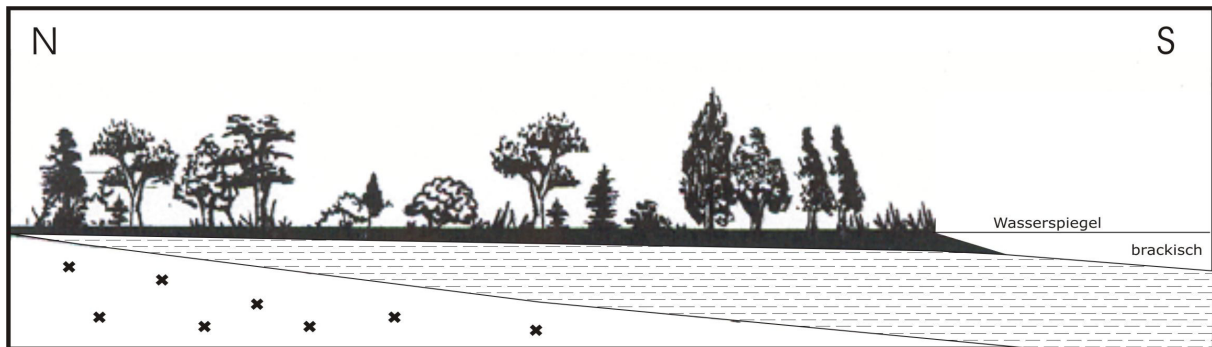
Abschätzung über die Ausbreitung dieser Massenbewegungen gemacht werden. (ca. 15 km E-W- und ca. 5-6 km N-S-Erstreckung).

Nun macht sich in den Sedimenten (680 – 480 m Bohrung Gabelhofen, Ingering-Profil, zwischen Ingering 1 und Ingering 2) allerdings der verstärkte distale Einfluss des südwärts progradiierenden Deltas, durch das Auftreten sandiger Lagen, die teilweise Rippelschichtungen aufweisen, bemerkbar. Gleichzeitig ist die Zunahme von detritären Komponenten wie Quarz, Feldspat und Illit bzw. Muskovit zu beobachten (SACHSENHOFER et al., submitted 2002). In diesem Abschnitt zeigen die geochemischen Parameter das Umschlagen von brackischem Einfluss in einem geschlossenen Wasserkörper hin zu einem durch Süßwasser dominierten Regime eines offenen Wasserkörpers. Diese Umstellung erfolgt eher langsam (SACHSENHOFER et al., submitted 2002).

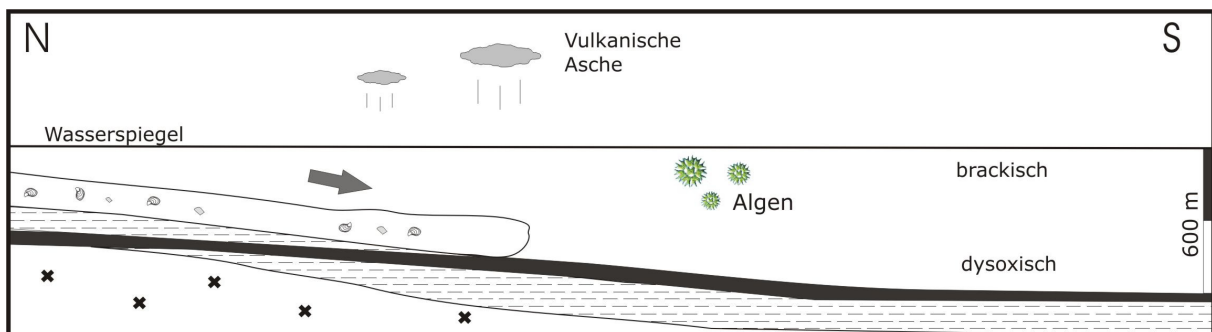
3. Süßwasserstadium: Die Sedimente werden zum Hangenden hin gröber (Ingering-Profil, Gabelhofen), das Delta schreitet weiter beckenwärts und es kommt somit zur sukzessiven Verlagerung der Beckenmitte südwärts. Hohe TOC/TS Werte sind Beweise von Süßwasserbedingungen (SACHSENHOFER et al., submitted 2002). Spuren von Bioturbation wurden trotz oxischer Bedingungen allerdings keine gefunden.

4. Endstadium: Dieses (Abb. 5-1, 4.) wird von sandigen Kiesen (Ingering-Profil, Ingering 5) und Konglomeraten (Bohrung Weißkirchen) dominiert. An der Ingering werden die hangenden grobkörnigen Sedimente allerdings immer wieder von Pelitabfolgen unterbrochen, was auf das seitliche Wandern der Deltafront schließen lässt. SACHSENHOFER et al. (submitted 2002) sprechen auch aufgrund von blockartiger Gamma-Ray-Logs von Ablagerung in *Channels*. Weiters dominieren Landpflanzen den organischen Eintrag, der in diesem finalen Stadium eher gering ausgefallen ist.

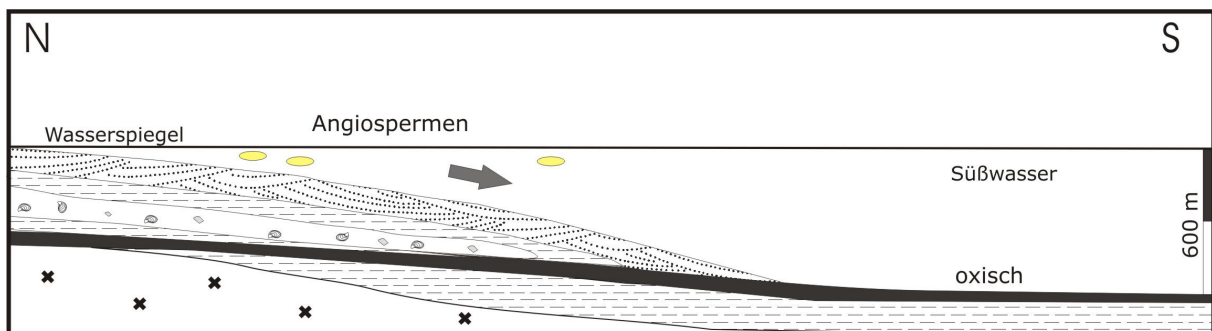
5. Halbgrabenphase: Im Zuge der weiteren tektonischen Aktivität der Halbgraben-Phase (ohne Abb.), kam es schließlich zur Kippung des Sedimentstapels um ca. 15-20°. Als Ausgleich für die Subsidenz am Südrand wird am Nordrand des Fohnsdorfer Beckens der Kristallinrücken (Flatschacher-, Rattenberger- und Gaaler Höhe) herausgehoben, der das Fohnsdorfer vom Seckauer Becken trennt (STRAUSS, 2000). Die darauf folgende einengende (kompressive) Phase deformiert die tertiäre Beckenfüllung zu einer offenen Synform (SACHSENHOFER et al., 2000b).



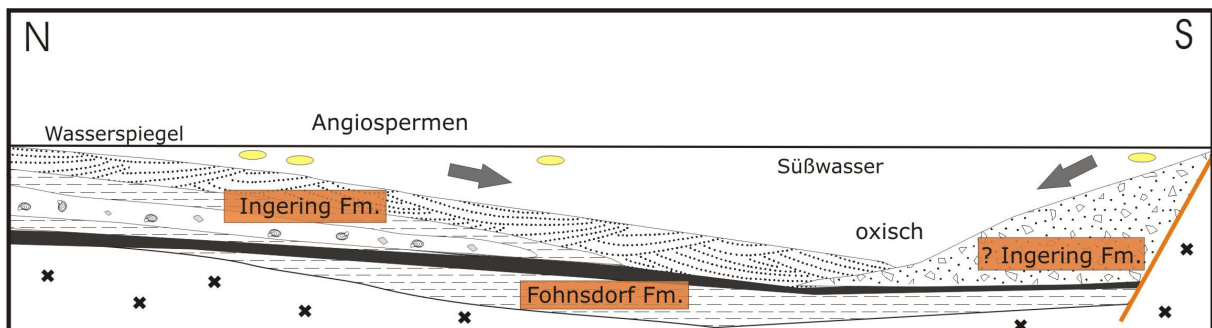
1. Initialstadium: Ablagerung der Kohle (schwarz), brackisches Milieu, Beginn der Ingering Fm. mit Sapropeliten.



2. Marin-Brackisches Stadium: Brackische Bedingungen, Debris Flows unterbrechen ruhige Ablagerung.



3. Süßwasserstadium: Umschlag im Ablagerungsmilieu, sukzessive Progradation von Sanden (Schrägschichtung).



4. Endstadium: Schüttungen von Norden und Süden.

Abb. 6-1 Entwicklungsgeschichte der Ingering-Formation inklusive des hangenden Teils der Fohnsdorf-Formation (verändert nach SACHSENHOFER et al., submitted 2002), Abb. nicht maßstäblich.

7 StratDraw – Programm zur graphischen Darstellung stratigraphischer Profile mit CorelDRAW™

7.1 Einleitung

Da man bei stratigraphischen Abfolgen klare, schnell verständliche Dokumentationen benötigt, ist es am sinnvollsten und schnellsten, die Informationen zu geologischen Profilen zu verarbeiten. In den meisten Fällen werden Programme zur Verarbeitung und graphischen Darstellung von stratigraphischen Profilen als teure Softwarepakete (z.B. "PRIZM™" von Landmark GeoGraphixs, "DBSond" von Geo&Soft International, "Log View" oder "WellCAD" von Rockware Inc.®, "Winbohr" von IDAT) mit einer großen Anzahl wenig benötigter Funktionen angeboten. Sie sind meist für den kommerziellen Gebrauch in der Exploration von Kohlenwasserstoffen zugeschnitten. Daher wollte ich ein möglichst kompaktes, einfach zu bedienendes Hilfsmittel zur Lösung meiner geologischen Probleme programmieren. Aus diesem Grund wurde ein eigenständiges Programm entwickelt, das sich der graphischen Komponenten vom CorelDRAW™ bedient (HÖLZEL, submitted 2003). Mit seiner Hilfe werden die stratigraphischen Profile automatisiert in CorelDRAW™ dargestellt. Das Programm besteht aus einem kurzen Code, geschrieben in Visual Basic 6.0 (vollständiger Code: Anhang 4). Die Anforderungen an das Programm waren: möglichst leichte Bedienbarkeit, in ein verbreitetes Graphikprogramm integrierbar, schnelle Verarbeitung einer großen Datenmenge und bestmögliche Qualität der graphischen Darstellung.

7.2 Arbeitsprinzip

Grundsätzlich wird bei stratigraphischen Profilen zwischen Verwitterungs- und Säulenprofilen unterschieden (GEYER, 1973). Während Säulenprofile eine eher schematische Darstellungsform sind, bei der nur die Lithologien eingezeichnet werden, richten sich Verwitterungsprofile entweder nach der Erosionsresistenz oder Kompetenz von Gesteinschichten oder wie bei klastischen Gesteinen, nach der Differenzierung von Korngrößen. Die Gesteinskolumnen variieren in ihrer Breite abhängig zur Korngröße und mit ihrer Schichtmächtigkeit abhängig zur Höhe bzw. Dicke der Balken (MIALL, 1984; TUCKER, 1988). StratDraw bedient sich nun dieser Darstellung: Nachdem die Daten tabelliert und als Textdateien vorliegen (siehe Kapitel 7.4), zeichnet CorelDRAW automatisch Rechtecke, die auf der Basis zweier Koordinaten aufgespannt werden. In CorelDraw sind Rechtecke durch einen linken unteren Koordinatenpunkt (x_1/y_1) und einen rechten oberen (x_2/y_2) definiert. Die Summe dieser absoluten Koordinaten ergibt die Korngröße (x_2-x_1) und die Dicke der Schicht (y_2-y_1). Bei der Zeichnung werden diese Rechtecke übereinander „gestapelt“. Das Programm kann Profile mit bis zu maximal 10 000 Lagen erstellen.

Aus optischen Gründen sind die jeweils rechten Ecken, in Abhängigkeit zur jeweiligen Schichtdicke, mehr oder weniger stark gerundet.

Für jede Korngröße bzw. Lithologie sind vordefinierte Farben integriert, die vom Anwender beliebig verändert werden können. Die Farben werden anschließend während des Zeichenvorganges automatisch eingefügt.

Die Skalierung eines Profils kann beliebig und unabhängig voneinander für die Mächtigkeit und für die Korngrößenverhältnisse zueinander, bzw. für die Breite des Profils vorgenommen werden. Der gewählte Maßstab ist proportional zu der jeweils gewählten Einheit der Daten.

Für etwaige Bemerkungen am Rand des Profils gibt es zudem die optionale Möglichkeit, eine zusätzliche Kolumne am linken Profilrand zeichnen zu lassen, die sich in seiner Breite variieren lässt.

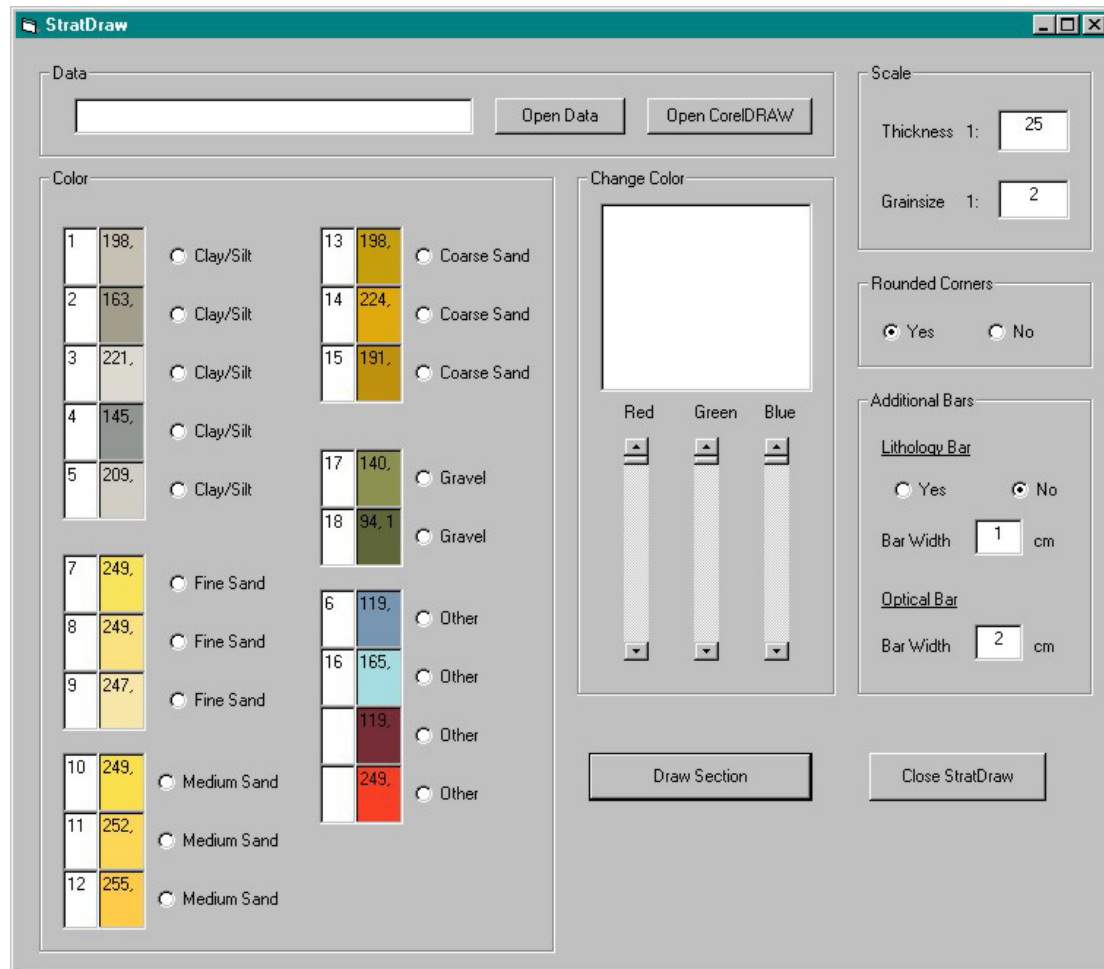


Abb. 7-1 Screenshot der Arbeitsoberfläche.

7.3 Systemvoraussetzungen

Bei StratDraw handelt es sich um ein eigenständiges Programm, dass während seiner Ausführung mit CorelDRAW in Interaktion tritt, d.h. dieses öffnet und benutzt. Das Programm ist mit CorelDRAW™ 10 und 11 kompatibel. Die Versionen wurden jeweils auf Computer mit Microsoft Windows Betriebssystem erfolgreich getestet. Die Kompatibilität mit Apple Macintosh® ist demnach fraglich.

Downloads der Anwendung und ein Beispieldatensatz sind auf der Homepage des Instituts für Geologische Wissenschaften der Universität Wien zu finden (<http://www.univie.ac.at/Geologie/downloads.htm>). Der Quellcode kann via anonymen FTP von der International Association of Mathematical Geology (<http://www.iamg.org>) bezogen werden und ist im Anhang 4 beigefügt.

Für die Installation ist kein spezielles Setup notwendig: Es genügt, die Datei StratDraw.exe herunter zu laden und abzuspeichern.

7.4 Funktion und Bedienung

7.4.1 Dateneingabe

Diese erfolgt über Tabellen oder einen Texteditor, wobei in einer Spalte die Schichtdicken und in einer anderen die dazugehörigen Korngrößen/Lithologien erfasst werden. Die Werte der jeweiligen Schichtdicken können unverändert übernommen werden (zu achten ist auf die gleiche Einheit), da eine einheitliche Maßstabskorrektur entweder vor der Zeichnung über StratDraw oder nachträglich in CorelDRAW möglich ist (siehe Kap. 7.4).

Korngrößen- klassen	Korngrößen- DIN 4022 (mm)	Lithologie	StratDraw- Index
Kies	63-2,0	Konglomerat Breccie	17, 18
Sand			
grob	2,0-0,63	Sand	13, 14, 15
mittel	0,63-0,20	Sandstein	10, 11, 12
fein	0,20-0,063	Arenit	7, 8, 9
Silt	0,063-0,002	Silt Siltstein	(3), 4, 5
Ton	< 0,002	Ton Tonstein	1, 2, (3)

Tab. 7-1 Korngrößen-Indizes, basierend auf DIN 4022.

Den Korngrößenwerten müssen nach Korngrößenklassen, Lithologien, Kompetenz oder anderen Unterscheidungskriterien Indexnummern zugewiesen werden. Anwendungsvorschläge dazu finden sich in Tab. 7-1. Der Benutzer kann beliebige Werte verwenden, dann allerdings können die Rechtecke nicht farbig gezeichnet werden. Die im Programm verwendeten Indizes sind deswegen ganzzahlig und dienen der Farbgebung, die nur über diese festgelegten Werte möglich sind.

Wählt man für alle Lithologien dieselbe Korngröße bzw. Breite, so lassen sich auf diese Weise auch Bohrprofile darstellen.

7.4.2 Datentabelle

Als nächster Schritt wird die Tabelle in einen Text umgewandelt und gespeichert (*.txt). Dabei ist es wichtig, dass die Daten in eine bestimmte, festgelegte Form gebracht werden müssen (Abb. 7-2). Es ist zwingend notwendig bei der Umwandlung der Tabelle in den Text darauf zu achten, als Paragraphentrennzeichen ein Rautensymbol (#) zu verwenden. Natürlich können die Daten schon in dieser Form in einen Texteditor eingegeben werden.

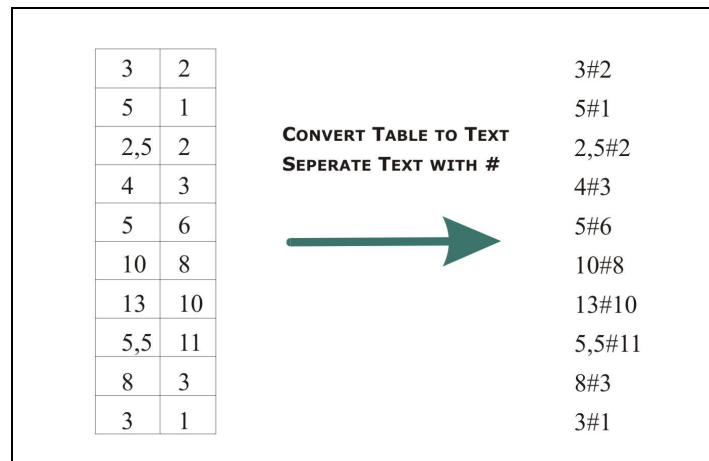


Abb. 7-2 Datenblatt, 1. Kolumne: Dicke; 2. Kolumne: Korngröße (Der angeführte Befehl bezieht sich auf Microsoft Word®, englische Version).

Das Anlegen solcher Dateien ist notwendig, um zu gewährleisten, dass die Daten anschließend automatisch eingelesen und übernommen werden können. Die Werte der darzustellenden Profile können bequem über die Benutzeroberfläche gewählt und geöffnet werden (Befehl: Open Data). Als Dezimaltrennzeichen kann entweder ein Punkt oder ein Komma verwendet werden.

7.4.3 Optionen

Bevor der Zeichenvorgang gestartet wird, sind noch einige Voreinstellungen möglich:

7.4.3.1 Farbe und Fill Pattern (Color)

Jeder Lithologie sind Default-Farben zugeordnet, die verändert werden können. Sie lassen sich über eine RGB-Farbpalette (256 Farben) selbst definieren (Change Color). Während des Zeichenvorganges werden sie automatisch in die betreffenden Schichtglieder eingefügt. Signaturen sind nicht in das Programm integriert. Es ist allerdings einfach Schichtglieder mit denselben Farben zu finden (CorelDRAW Befehl: Edit-Find and Replace) und zu markieren und durch *Fill Patterns* zu ersetzen. Einerseits stehen dafür die in CorelDraw™ verfügbaren Muster zur Verfügung, aber die Erfahrung hat gezeigt, dass die standardisierten Signaturen des US. Geological Surveys (<http://structure.harvard.edu/~plesch/map%20patterns/index.htm>) besser geeignet sind und auch über dieselbe CorelDRAW Funktion eingefügt werden können.

7.4.3.2 Maßstab (Scale)

Eine weitere Option ist das Festlegen eines Maßstabes (Scale) mit der Einheit in Zentimetern. Weitere Veränderungen des Maßstabes sind auch in CorelDRAW selbst nach Ausführen des Zeichenvorganges möglich. Über die CorelDRAW-Funktion Arrange-Transformations-Scale (Alt+F9) können Zeichnungen prozentuell genau verkleinert und vergrößert werden.

7.4.3.3 Abgerundete Ecken (Rounded Corners)

Damit die Profile optisch ansprechend sind, werden die Ecken der rechten Seite abgerundet dargestellt. Der Grad der Rundung richtet sich dabei nach den jeweiligen Schichtdicken. Natürlich ist es auch möglich, die Schichten mit Ecken zu zeichnen.

7.4.3.4 Optical Bar

Eine weitere optische Verbesserung ist die wählbare Verbreiterung des Profils auf der linken Seite, durch eine weitere Kolumne, die in das Profil integriert ist und daher nicht als separate Spalte sichtbar ist. Die Breite (in cm) dieses Balkens lässt sich individuell verändern.

7.4.3.5 Lithology Bar

Weiters gibt es noch die Möglichkeit, eine zusätzliche Kolumne an der linken Seite zeichnen zu lassen, um eventuell Schichtnummern, Bemerkungen oder Fotos einzufügen. Die frei wählbare Breite entspricht der in CorelDRAW™ gezeichneten, in Zentimeter.

7.4.4 Ausführen des Zeichenvorganges (Draw Section)

Über die Funktion Open Corel Draw öffnet sich CorelDRAW automatisch und erscheint unter der Benutzeroberfläche von StratDraw.

Nachdem die Voreinstellungen getroffen sind und über den Befehl Section Data ein Datenfile gewählt wurde, kann über die Funktion Draw Section der Zeichenvorgang gestartet werden. Vor jedem Zeichenvorgang wird eine neue CorelDRAW *Graphic* (neues Blatt) geöffnet, damit Profile nicht übereinander gezeichnet werden können. Man kann das Ausführen der Graphik im Object Manager von CorelDRAW mitverfolgen.

7.4.5 Editieren und Speichern

Wenn ein Profil gezeichnet wird, geschieht dies auf einem CorelDRAW-*Sheet* und die Graphik verhält sich danach wie ein CorelDRAW-*File*, das heißt, sie lässt sich im Nachhinein beliebig verändern. Die Schichtglieder können einzeln oder in Gruppen markiert, gelöscht und umgezeichnet werden. Eine praktische Anwendung ist es, über die Find and Replace Funktion gleichartige bzw. gleichfarbige Schichtglieder zu markieren und durch andere Füllungen zu ersetzen. Wenn das RGB-Farangebot von Visual Basic nicht reicht, kann auf diese Weise nachträglich auf die vielfältigere CorelDRAW Farbpalette (CYMK und RGB Farben) zurückgreifen.

Bei Änderungen einer Korngröße innerhalb einer Bank (z.B.: Gradierungen), ist es sinnvoll, die betreffende Schicht mit ihrer maximalen Korngröße zu zeichnen, nachträglich das Rechteck in Linien umzuwandeln (CorelDRAW Befehle: Arrange-Convert to Curves; Ctrl+Q) und auf diese Weise händisch graphisch zu verändern.

Gespeichert wird die Zeichnung als CorelDRAW-Datei (*.cdr).

7.5 Zusammenfassung

Da bei dieser Diplomarbeit das Hauptaugenmerk auf die Profilaufnahme der Ingering-Formation gelegt wurde, sammelte sich im Laufe meiner Tätigkeit mit 617 Schichten des Ingering-Profils eine Unmenge an Daten an (Mit dem Programm ist es möglich, Profile mit maximal 10 000 Schichten zu generieren), die es graphisch darzustellen galt. Zum einen habe ich dieses kleine Programm entwickelt, um möglichst zeitsparend und genau arbeiten zu können, zum anderen, weil graphische Darstellungsmöglichkeiten von Profilen (meist von Bohrprofilen) oftmals in teure, umfangreiche Softwarepakete integriert sind. Da das Erlernen dieser Programme einige Zeit erfordert, bzw. für komplexere Fragestellungen konzipiert ist, sind oft auch die Eingabemasken vielfältig und unübersichtlich aufgebaut. Die kommerzielle Darstellung von Logs lässt zudem auch von der graphischen Qualität oft zu wünschen übrig. Wegen der hohen Lizenzgebühren ist auch die Anschaffung meist nicht gerechtfertigt. Dieses Programm ist Freeware und von der Homepage des Instituts für Geologische Wissenschaften Wien (<http://www.univie.ac.at/Geologie/downloads.htm>) zu beziehen.

Literaturverzeichnis

- BARR, T. D. und HOUSEMANN, G. A. (1992): Distribution of Deformation around a non-linear ductile medium. *Geophysical Research Letters* 19: 1145-1148.
- BARR, T. D. und HOUSEMANN, G. A. (1996): Deformation fields around a fault embedded in a non-linear ductile medium. *Geophysical Journal International* 125 (2): 473-490.
- BONS, P. D., BARR, T. D. und TEN BRINK, C. E. (1997): The development of δ -clasts in non-linear viscous materials: a numerical approach. *Tectonophysics* 270: 29-41.
- EBNER, F., DUNKL, I., MALI, H. und SACHSENHOFER, R. F. (2002): Stratigraphic evidence of pyroclastic layers in Miocene basins of the Eastern Alps. *Proceedings of the XVII Congress Carpathian-Balkan Geol. Assoc., Bratislava*.
- FARRELL, S. G. und EATON, S. (1987): Deformation of Sediments and Sedimentary Rocks - Slump strain in the Tertiary of Cyprus and the Spanish Pyrenees. Definition of palaeoslopes and models of soft sediment deformation. *Geological Society Special Publications*, 29, Oxford.
- FLINN, D. (1962): On folding during three dimensional progressive deformation. *Q. Jl. Geol. Soc. Lond.* 118: 385-428.
- FRIEDMAN, G. M. (1962): On sorting, sorting coefficients, and the lognormality of the grain-size distribution of sandstones. *Journal of Geology* 70: 737-753.
- FRIEDMAN, G. M. (1979): Differences in size distributions of populations of particles among sands of various origins. *Sedimentology* 26: 3-32.
- GEYER, O. (1973): *Grundzüge der Stratigraphie und Fazieskunde*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, pp. 279.
- GNJEZDA, G. (1988): Tektonische und geothermische Untersuchungen im Raum Fohnsdorf-Judenburg/Steiermark. unveröff. Diss., Universität Wien, pp. 242.
- GRUBER, W. und SACHSENHOFER, R. F. (2001): Coal deposition in the Noric Depression (Eastern Alps): raised and low lying mires in Miocene pull-apart basins. *International Journal of Coal Geology* 48: 89-114.
- HAMPTON, M. A. (1975): Competence in fine-grained debris flows. *Journal of Sedimentary Petrology* 45: 834-844.
- HAMPTON, M. A. (1979): Bouyancy in debris flows. *Journal of Sedimentary Petrology* 49: 753-758.
- HÖLZEL, M. (submitted 2003): StratDraw - Automatic generation of stratigraphic sections from tabulated field data, *Computers & Geosciences*.
- HROUDA, F., JANAK, F., REJL, L. und WEISS, J. (1971): The use of magnetic susceptibility anisotropy for estimating the ferromagnetic mineral fabrics of metamorphic rocks. *Geologische Rundschau* 60 (3): 1124-1142.

- KNAUST, D. (2001): Pinch- and-swell structures at the Middle/Upper Muschelkalk boundary (Triassic): evidence of earthquake effects (seismites) in the Germanic Basin. *International Journal of Earth Sciences* 91 (2): 291-303.
- LAMBIASE, J. J. (1990): A model for tectonic control of lacustrine stratigraphic sequences in continental rift basins. In: KATZ, B. (Ed.): *Case Studies and Modern Analogues*. AAPG Memoir, 50, 265-276.
- LEEDER, M. R. (1999): *Sedimentology and Sedimentary Basins*. Blackwell Sciences, pp. 620.
- MANGE, M. A. und MAURER, H. F. W. (1991): *Schwerminerale in Farbe*. Enke, Stuttgart, pp. 148.
- MARSAL, D. (1967): *Statistische Methoden für Erdwissenschaftler*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, pp. 192.
- METZ, K. (1957): Gedanken zu baugeschichtlichen Fragen der steirisch-kärntnerischen Zentralalpen. *Mitt. Österr. Geol. Ges.* 50: 201-250.
- METZ, K. (1973): Beiträge zur tektonischen Baugeschichte und Position des Fohnsdorf-Knittelfelder Tertiärbeckens. *Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Joanneum* 33: 3-33.
- MIALL, A. D. (1984): *Principles of Sedimentary Basin Analysis*. Springer Verlag, Stuttgart, pp. 668.
- MOTTL, M. (1961): Neue Säugetierfunde aus dem Jungtertiär der Steiermark. In: *Neue Säugetierfunde aus dem Glanzkohlebergbau von Fohnsdorf*. *Mitt. Mus. f. Bergb., Geol. U. Techn. A. Landesmus. Joann., Graz*, 22, 3-21.
- NEMEC, W. und STEEL, R. J. (1984): Alluvial and coastal conglomerates: their significant features and some comments on gravelly mass-flow deposits. *Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir* 10: 1-31.
- ORTON, G. J. und READING, H. G. (1993): Variability of deltaic processes in terms of sediment supply, with particular emphasis on grain size. *Sedimentology* 40 (3): 475-512.
- PASSCHIER, C. W. und SIMPSON, C. (1986): Porphyroblast systems as kinematic indicators. *Journal of Structural Geology* 8: 831-844.
- PASSEGA, R. (1957): Texture-a characteristic of clastic deposition. *AAPG Bulletin* 41 (9): 1952-1984.
- PASSEGA, R. (1964): Grain size representation by CM patterns as a geological tool. *Journal of Sedimentary Petrology* 34 (4): 830-847.
- PASSEGA, R. und BYRAMJEE, R. (1969): Grain-size image of clastic deposits. *Sedimentology* 13: 233-252.
- PETRASCHECK, W. (1924): *Kohlengeologie der Österreichischen Teilstaaten*. Kattowitzer Buchdruckerei und Verlags-Sp., Katowice, pp. 1-272.
- PIERSON, T. C. (1981): Dominant particle support mechanisms in debris flows at Mt. Thomas, New Zealand, and implications for flow mobility. *Sedimentology* 28: 49-60.

- POLESNY, H. (1970): Beitrag zur Geologie des Fohnsdorf-Knittelfelder und Seckauer Beckens. unveröffentl. Dissertation, Universität Wien, pp. 234.
- PRATSON, L. F., IMRAN, J., PARKER, G., SYVITSKI, J. P. M. und HUTTON, E. (2000): Debris Flows vs. Turbidity Currents: a Modeling Comparison of Their Dynamics and Deposits. AAPG Memoir 72: 57-71.
- RAMSAY, J. G. (1967): Folding and Fracturing of Rocks. McGraw-Hill, New York, pp. 568.
- RAMSAY, J. G. und Kligfield, R. (1983): Role of shear in development of the Helvetic fold, thrust belt of Switzerland. *Geology* 11: 439-442.
- RATSCHBACHER, L., FRISCH, W., LINZER, H.-G. und MERLE, O. (1991): Lateral extrusion in the Eastern Alps, 2. Structural analysis. *Tectonics* 10: 257-271.
- READING, H. G. (1998): Sedimentary Environments. Blackwell Sciences, pp. 704.
- RÖGL, F. (1996): Stratigraphic correlation of the Paratethys Oligocene and Miocene. *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.* 41: 65-73.
- SACHSENHOFER, R. F., BECHTEL, A., REISCHENBACHER, D. und WEISS, A. (submitted 2002): Evolution of lacustrine systems along the Miocene Mur-Mürz fault system.
- SACHSENHOFER, R. F., STRAUSS, P., WAGREICH, M., ABART, R., DECKER, K., GOLDBRUNNER, J. E., GRUBER, W., KRIEGL, C. und SPÖTL, C. (2000a): Das miozäne Fohnsdorfer Becken - Eine Übersicht. *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.* 44: 173-190.
- SACHSENHOFER, R. F., KOGLER, A., POLESNY, H., STRAUSS, P. und WAGREICH, M. (2000b): The Neogene Fohnsdorf Basin: Basin formation and basin inversion during the lateral extrusion in the Eastern Alps (Austria). *Int. J. Earth Sci.* 89: 415-430.
- SCHUSTER, R., SCHMIDT, K., FRANK, W. und SCHARBERT, S. (1999): Tectonic inversion of the Eoalpine metamorphism in the Seckau-Gleinalm-Koralpe transsect (Styria, Austria). *Berichte der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft*: 208.
- SHEPARD, F. P. (1954): Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology* 24: 151-158.
- STRAUSS, P. (2000): Das Fohnsdorfer Becken. unveröffentl. Diplomarbeit, Universität Wien, pp. 59.
- STRAUSS, P., DAXNER-HÖCK, G. und WAGREICH, M. (in press.): *Stratigraphia Austriaca - Lithostratigraphie, Biostratigraphie und Sedimentologie des Miozäns im Fohnsdorfer Becken*. Österr. Akad. Wiss., Vienna.
- STRAUSS, P. und WAGREICH, M. (1999): Das Fohnsdorfer Tertiärbecken - Erste Ergebnisse lithostratigraphischer Untersuchungen. *Abstr. Astrostrat 99, Obertrum*: 24-25.
- STRAUSS, P., WAGREICH, M., DECKER, K. und SACHSENHOFER, R. F. (2001): Tectonics and sedimentation in the Fohnsdorf-Seckau basin (Miocene-Austria): from a pull-apart basin to a half-graben. *Int. J. Earth Sciences* 90: 549-559.

TOLLMANN, A. (1985): Geologie von Österreich, Band II, Außerzentralalpiner Anteil. Deutike, Wien, pp. 710.

TUCKER, M. E. (1988): Techniques in Sedimentology. Blackwell Scientific Publications, pp. 394.

WEBER, L. und WEISS, A. (1983): Bergbaugeschichte und Geologie der Österreichischen Braunkohlevorkommen. Arch. Lagerst.forsch. Geol. B.-A. 4: 1-317.

WEISS, A. (2002): Marin versus nicht-marin: Untersuchung am Beispiel ostalpiner Neogenbecken. unveröffentl. Diplomarbeit, Montanuniversität Leoben, pp. 118.

Internet Referenzen

CorelDRAW: http://www.corel.com/partners_developers/csp/coreldraw_developer.htm,
http://www.corel.com/partners_developers/csp/resources/dvba_pg.pdf

BASIL: <http://earth.leeds.ac.uk/~greg/basil/index.html>

Brockhaus: <http://www.brockhaus.de>

Geographix: <http://www.geographix.com/>

Geo&Soft, DB Sond: <http://www.geoandsoft.com/english/dbsex02.htm>

Idat: http://www.idat.de/jsfr/index_dj.html

Institut für Geologische Wissenschaften, Universität Wien:
<http://www.univie.ac.at/Geologie/downloads.htm>

Landmark: <http://www.lgc.com/>

Rockware Inc.: <http://www.rockware.com/>

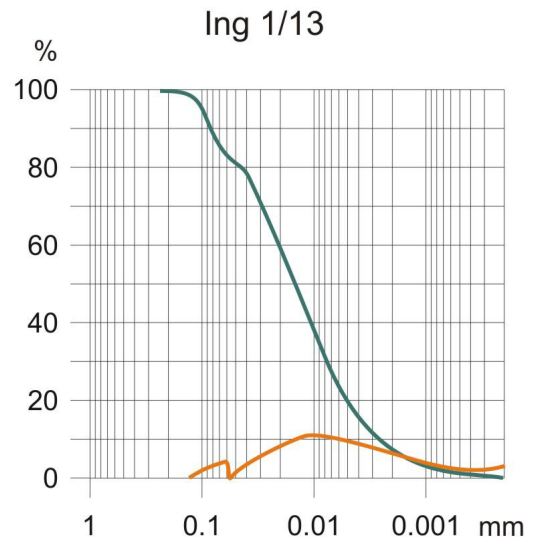
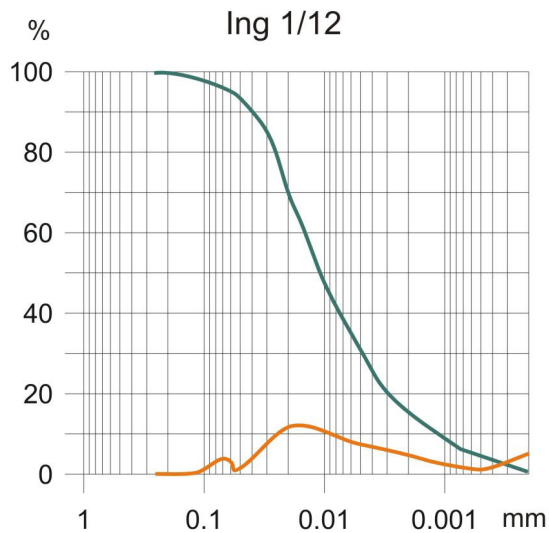
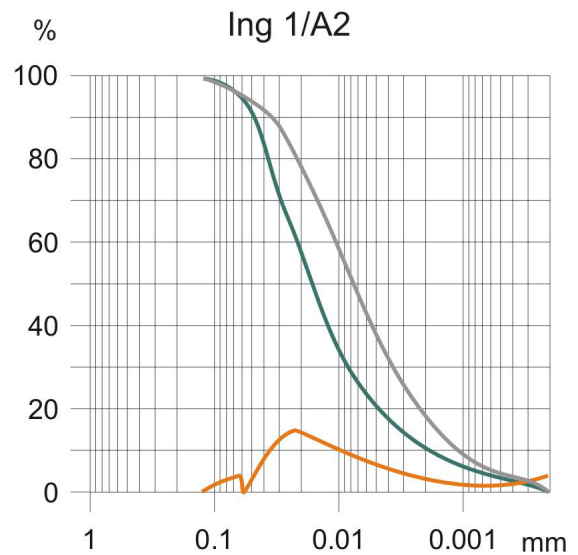
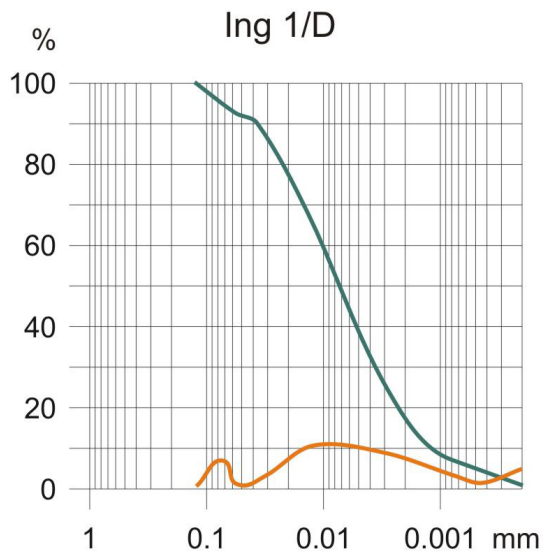
Software Compass: <http://fountainware.com/compass/>; <http://www.karst.net/>

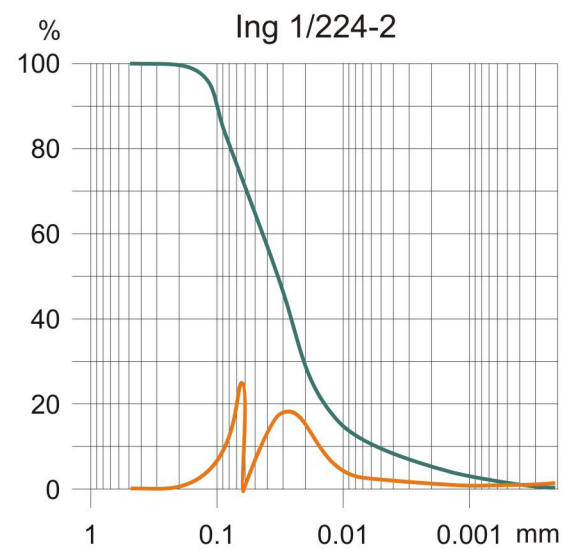
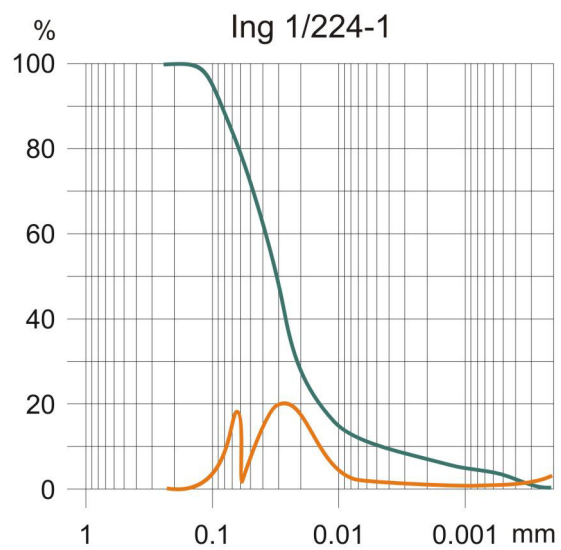
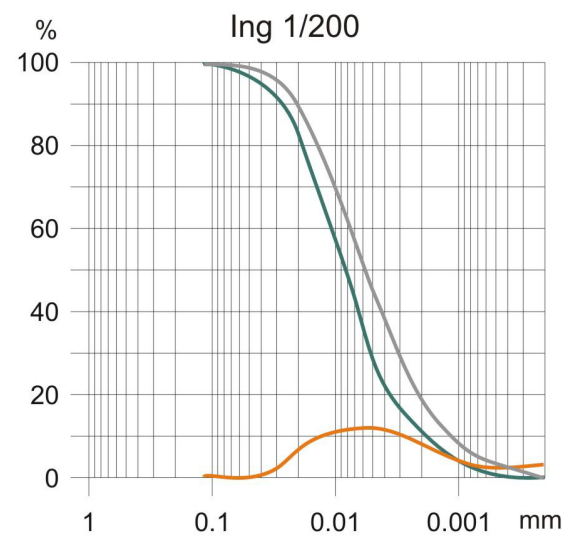
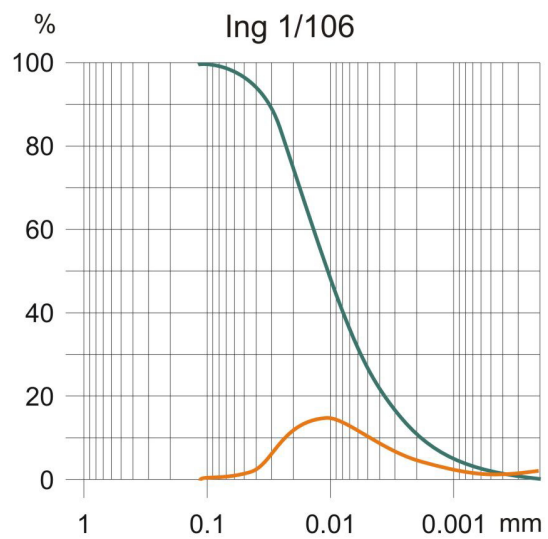
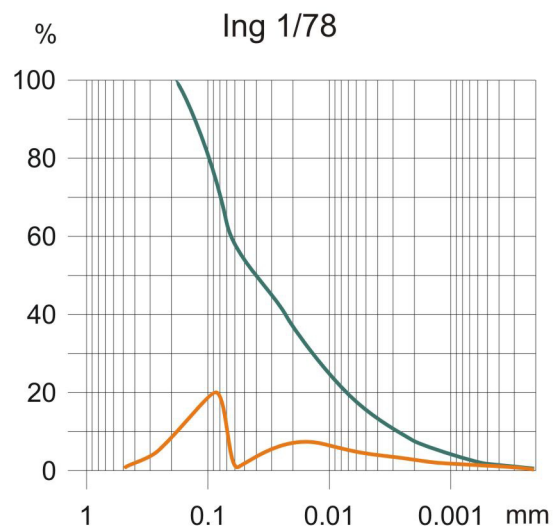
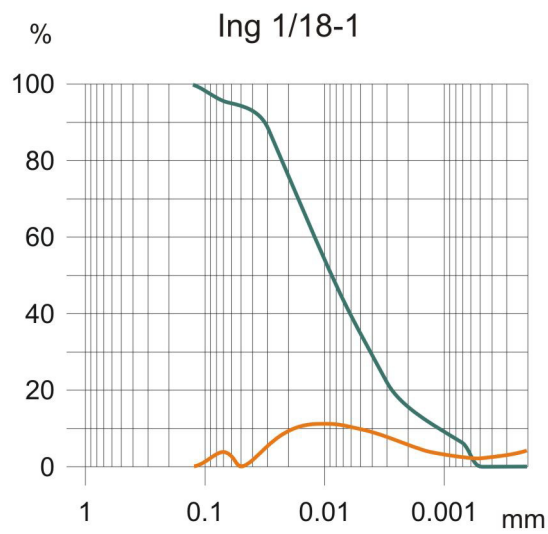
Tectonics FP: <http://homepage.uibk.ac.at/homepage/c715/c71508/>

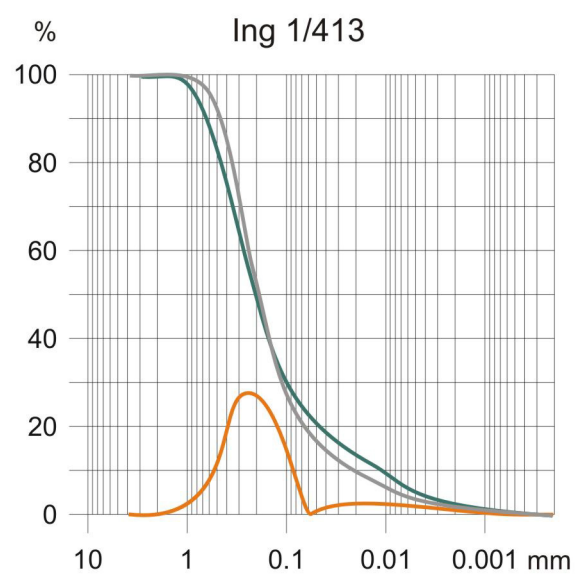
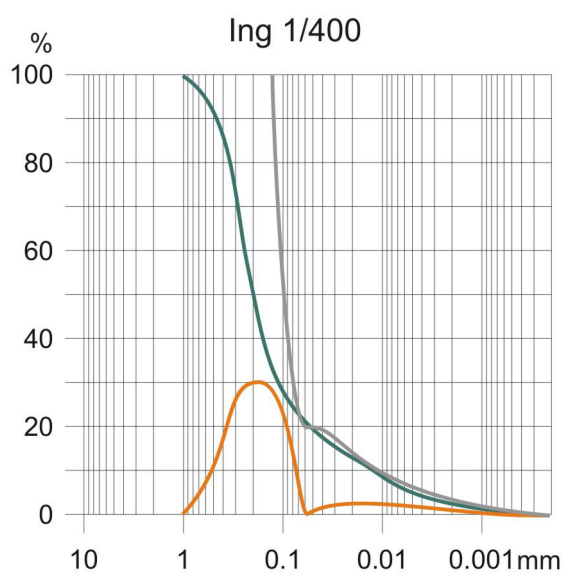
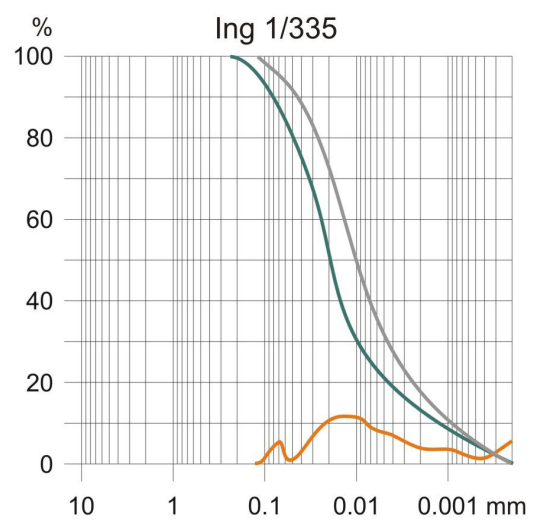
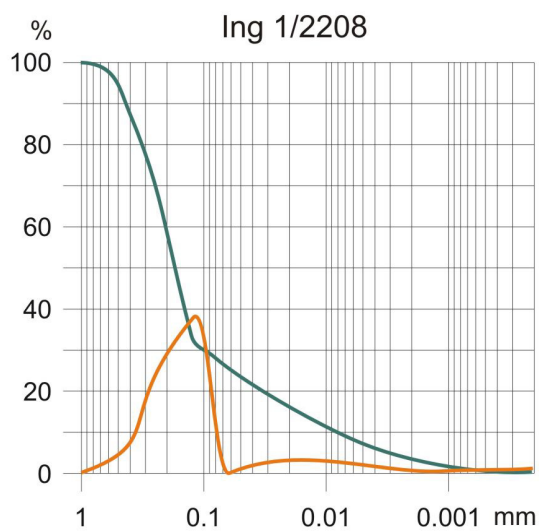
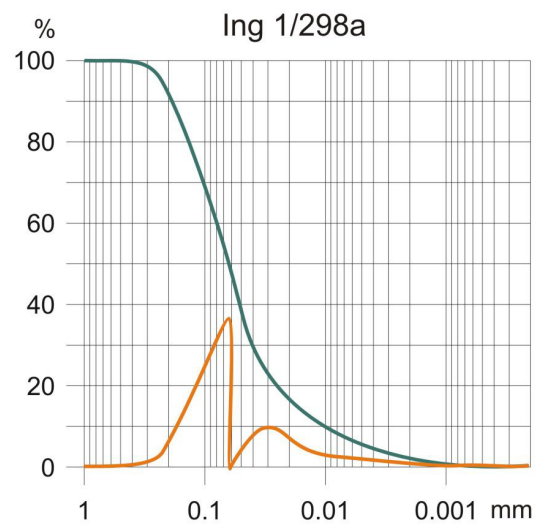
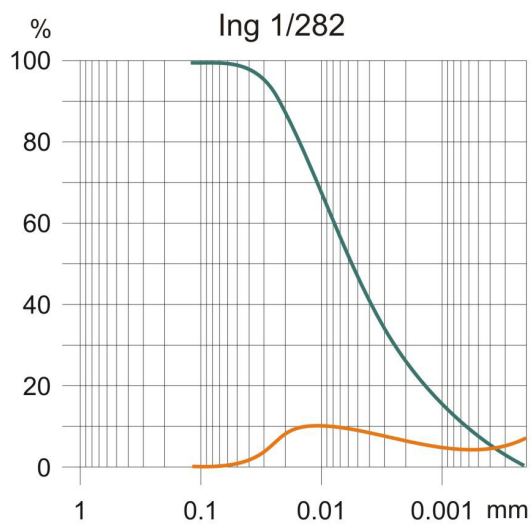
USGS-Signaturen: <http://structure.harvard.edu/~plesch/map%20patterns/index.htm>

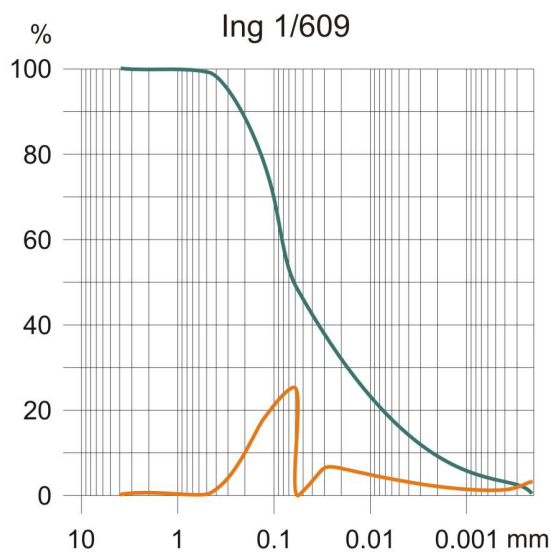
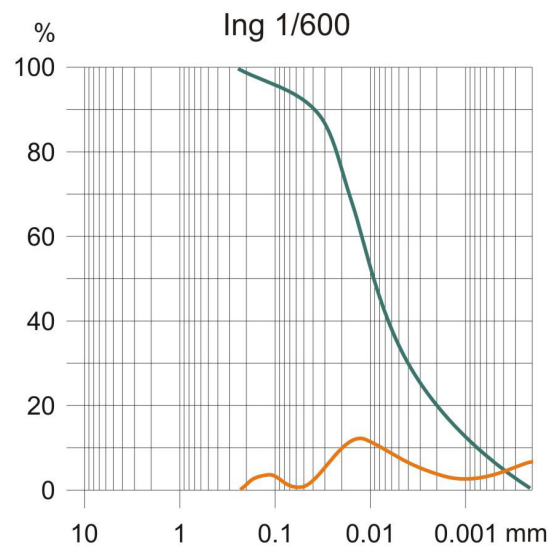
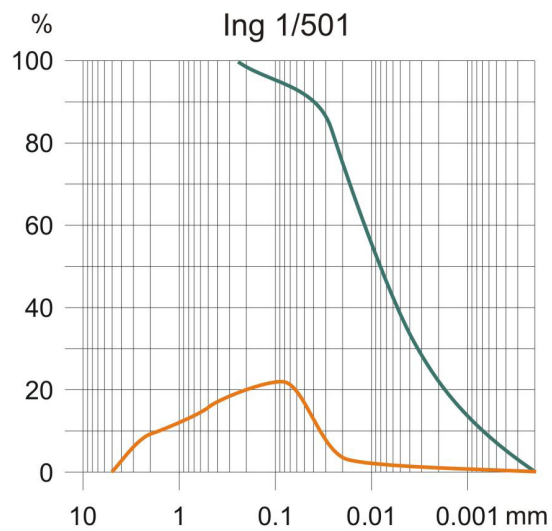
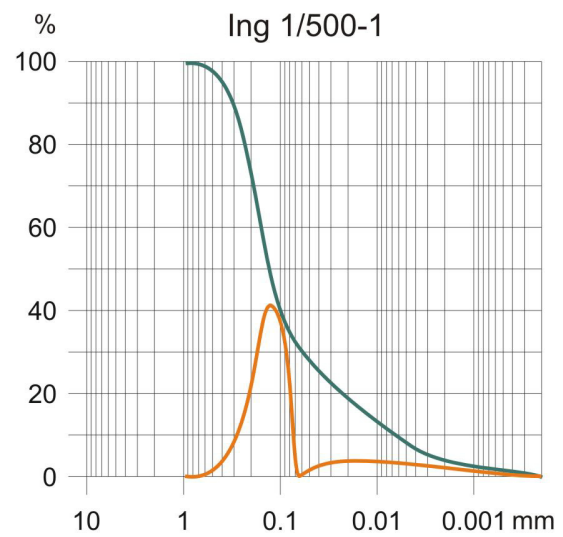
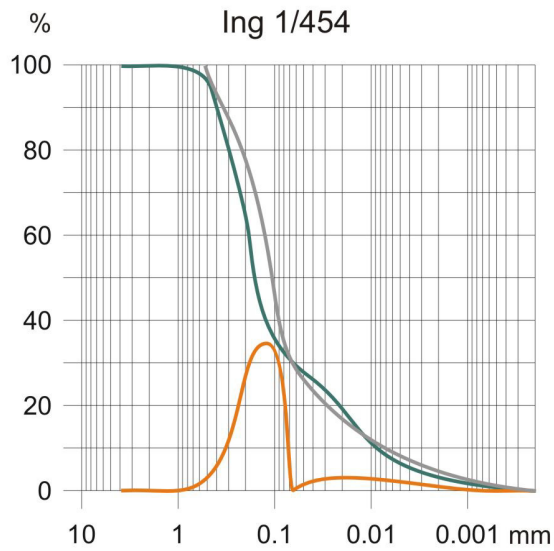
Anhang 1 – Kornsummenkurven

1. Messung 2. Messung Sortierung

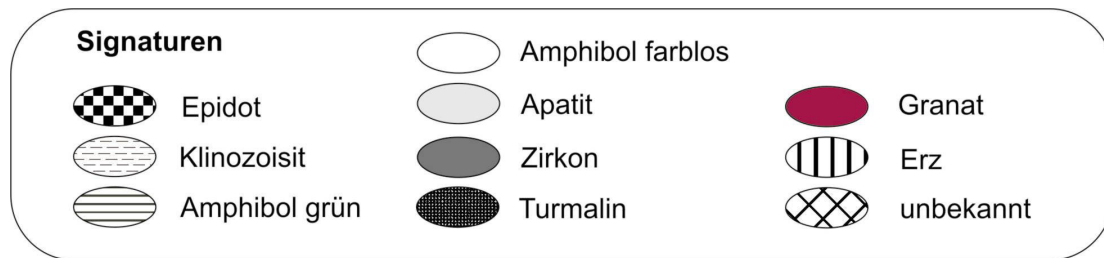




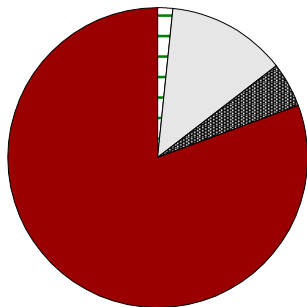




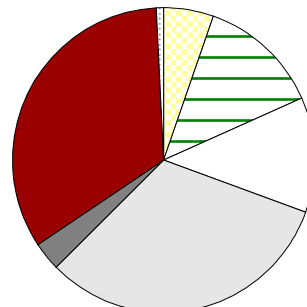
Anhang 2 – Schwermineralanalyse



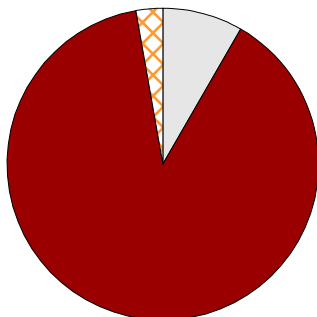
Ing1/12



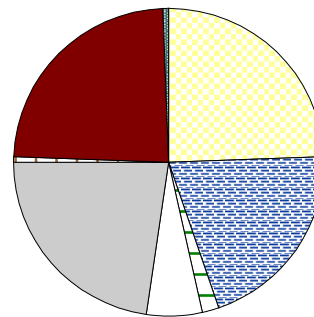
Ing1/20



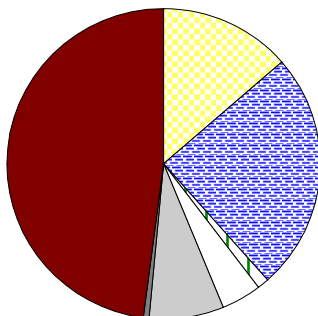
Ing13/1308



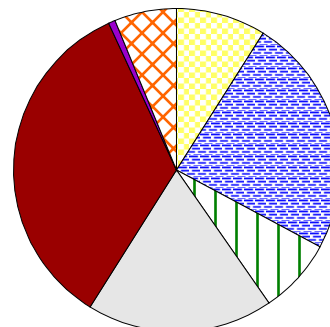
Ing2/250



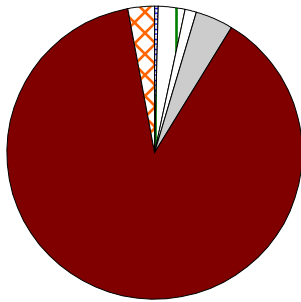
Ing2/272



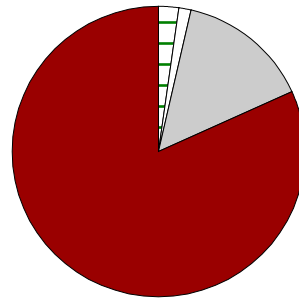
Ing2/280



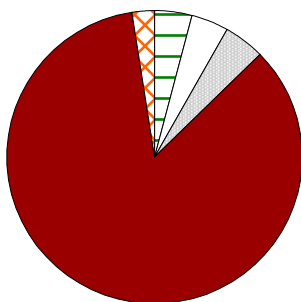
Ing2/298a



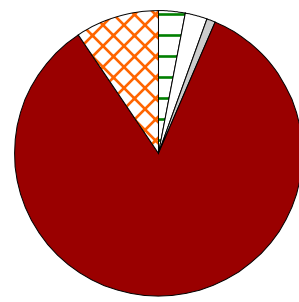
Ing22/2208



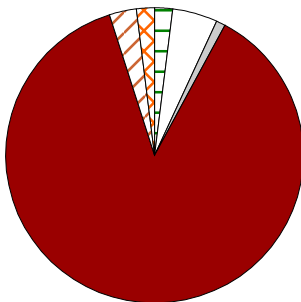
Ing4/408



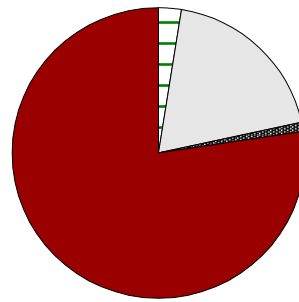
Ing4/454



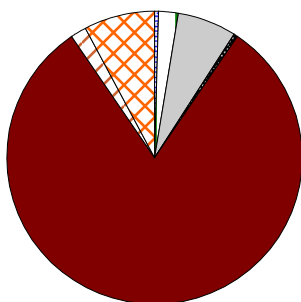
Ing5/500-1



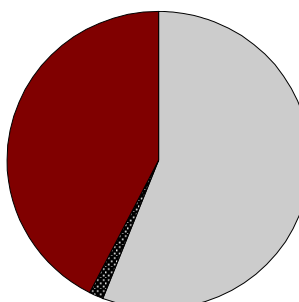
Ing5/500-2



Ing5/501



Ing6/609



Anhang 3 – Koordinaten der Vermessung

Die ersten 4 Messpunkte (MP) sind mittels GPS-Messungen ermittelt. An ihnen wurden die restlichen Messzüge im Österreichischen Bundesmeldenetz referenziert. Die Koordinaten (Rechtswert RW, Hochwert HW) beziehen sich auf den Meridianstreifen 31 (M31).

Nr.	MP	RW	HW	Sh (m)
0	3	560051	232267	689
1	25	559528	233080	705
2	hang7	559870	232334	700
3	s2100	559475	233030	685
4	3	560039	232221	689
5	3	560053	232318	690
6	4	560024	232358	691
7	5	559980	232371	691
8	6	559932	232384	695
9	7	559921	232425	693
10	8	559907	232474	694
11	9	559891	232520	694
12	10	559857	232548	694
13	11	559828	232566	695
14	12	559808	232595	695
15	13	559782	232637	695
16	14	559747	232672	695
17	15	559708	232705	696
18	16	559688	232749	697
19	17	559703	232797	697
20	18	559679	232839	698
21	19	559656	232882	699
22	20	559613	232914	699
23	21	559565	232940	701
24	22	559547	232979	703
25	23	559549	233047	705
26	25	559485	233088	705
27	26	559457	233117	706
28	27	559466	233166	705

29	28	559471	233213	706
30	29	559442	233253	707
31	30	559435	233295	707
32	28	559455	233164	707
33	40	559435	233166	708
34	41	559426	233147	715
35	41	559422	233177	714
36	43	559426	233196	715
37	30	559442	233237	707
38	1a	559426	233144	673
39	30	559440	233251	708
40	30	559440	233252	707
41	31	559433	233283	707
42	31	559429	233302	707
43	1e	559413	233209	673
44	42	559424	233142	713
45	Quelle	559408	233049	679
46	42	559430	233146	712
47	Unter_Qux	559430	233146	711
48	Unter_Qu	559414	233053	676
49	42	559426	233140	717
50	Ing11	559410	233047	683
51	43	559410	233182	722
52	Grind	559394	233090	688
53	44	559425	233197	712
54	s1300	559409	233104	678
55	44	559436	233194	717
56	44	559416	233204	720
57	45	559405	233207	725
58	46	559400	233202	725

59	s1362	559384	233109	691
60	27	559448	233112	716
61	27	559450	233117	709
62	27	559457	233109	707
63	2c	559441	233016	672
64	27	559439	233113	720
65	27	559437	233109	724
66	2e(hangend)	559421	233016	690
67	22	559554	232931	701
68	3a	559538	232839	667
69	23	559528	232968	701
70	3b	559512	232875	667
71	16	559693	232714	697
72	4a	559677	232621	663
73	16	559706	232695	696
74	16	559692	232685	707
75	4c	559675	232593	673
76	12	559827	232551	696
77	12	559824	232548	700
78	5b	559807	232456	666
79	13	559797	232587	695
80	5c	559780	232495	661
81	13	559802	232577	695
82	13	559796	232582	700
83	hang7	559880	232342	699
84	s2100	559470	233029	690
85	s2100	559470	233023	690
86	top1	559473	233018	689
87	s2200	559468	233015	694
88	2	560043	232175	691
89	1	560032	232174	696
90	7a	560016	232081	662
91	hang6	559882	232350	694
92	hang5	559889	232354	687
93	hang4	559904	232356	682

94	hang3	559898	232361	677
95	hang1	559895	232360	679

Anhang 4 – StratDraw – Quellcode

'StratDraw-Automatic generation of stratigraphic sections from tabulated data

```
Private Sub cmdCore1_Click()
```

```
Dim cd As New CorelDRAW.Application  
cd.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdData_Click()
```

```
Dim Dateiname As String
```

```
cdlDataOpen.Filter = "*.txt"  
cdlDataOpen.DialogTitle = "Open section data"  
cdlDataOpen.ShowOpen  
Dataname = cdlDataOpen.FileName  
If Dataname = "" Then Exit Sub
```

```
txtData.Text = cdlDataOpen.FileName
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdCloseWindow_Click()
```

```
StratDraw.Visible = False
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdSection_Click()
```

```
If txtData.Text = "" Then  
    MsgBox ("Select Data!")  
    Exit Sub
```

```
End If
```

```
Dim cd As CorelDRAW.Application  
Dim ce As Document  
Set ce = CreateDocument
```

```
Dim d(10000)  
Dim k(10000)
```

```
Set FSObject = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
```

```
If txtData.Text = txtData.Text Then Set PrepareToReadObject =
FSObject.GetFile(txtData.Text)

Set ReadObject = PrepareToReadObject.OpenAsTextStream(1, -2)
j = 0

Do While ReadObject.AtEndOfLine <> True
    X = ReadObject.ReadLine

    xArray = Split(X, "#", -1)

    d(j) = xArray(0)
    k(j) = xArray(1)

    j = j + 1

Loop

ReadObject.Close

For i = 0 To j - 1

    dr = txtThickness.Text * 2.5
    ke = txtGrainsize.Text * 2.5

    br = txtBar.Text / 2.5

    lux = 0 - br
    If i <> 0 Then luy = luy + d((i - 1)) / dr
    rox = k(i) / ke
    roy = roy + d(i) / dr

    If optCornerYes = True Then
        If (luy - roy < 30) Then
            r = 30
        ElseIf (luy - roy > 30) Then
            r = 70
        ElseIf (luy - roy > 80) Then
            r = 100
        End If
    End If

Dim rec As Object
Set rec = ActiveLayer.CreateRectangle(lux, luy, rox, roy, 0, r, r, 0)

Dim a As Long
Dim b As Long
Dim c As Long
```

```
For q = 0 To 19

    If k(i) = Text3(q).Text Then

        txt = Text2(q).Text
        q = 20

        pos1 = InStr(1, txt, ",")
        a = Left(txt, pos1 - 1)
        le = Len(txt)
        txt2 = Mid(txt, pos1 + 1, le)

        pos2 = InStr(1, txt2, ",")

        b = Left(txt2, pos2 - 1)

        le2 = Len(txt2)
        c = Mid(txt2, pos2 + 1, le2)

        rec.Fill.UniformColor.RGBAssign a, b, c

    End If

Next q

Next i

If optLithoYes.Value = True Then

    For i = 0 To j - 1

        litbr = txtLithoBar.Text / 2.5

        litlux = -br - litbr
        If i <> 0 Then litluy = litluy + (d(i - 1)) / dr
        If i <> 0 Then litrox = -br
        litroy = litroy + d(i) / dr

        Dim s6 As Object
        Set s6 = ActiveLayer.CreateRectangle(litlux, litluy, litrox,
        litroy, 0, 0, 0, 0)

    Next i

End If
End Sub

Private Sub Form_Load()
```

```
Text2(0).BackColor = RGB(198, 193, 178)
Text2(1).BackColor = RGB(163, 158, 140)
Text2(2).BackColor = RGB(221, 219, 209)
Text2(3).BackColor = RGB(145, 150, 147)
Text2(4).BackColor = RGB(209, 206, 198)
Text2(5).BackColor = RGB(249, 229, 91)
Text2(6).BackColor = RGB(249, 226, 127)
Text2(7).BackColor = RGB(247, 232, 170)
Text2(8).BackColor = RGB(249, 224, 76)
Text2(9).BackColor = RGB(252, 216, 86)
Text2(10).BackColor = RGB(255, 204, 73)
Text2(11).BackColor = RGB(198, 160, 12)
Text2(12).BackColor = RGB(224, 170, 15)
Text2(13).BackColor = RGB(191, 145, 12)
Text2(14).BackColor = RGB(140, 145, 79)
Text2(15).BackColor = RGB(94, 102, 58)
Text2(16).BackColor = RGB(119, 150, 178)
Text2(17).BackColor = RGB(165, 221, 226)
Text2(18).BackColor = RGB(119, 45, 53)
Text2(19).BackColor = RGB(249, 63, 38)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub VScroll11_Change(Index As Integer)
```

```
Text4.BackColor = RGB(VScroll11(0).Value, VScroll11(1).Value,
VScroll11(2).Value)
```

```
For m = 0 To 19
```

```
    If Option1(m).Value = True Then
```

```
        Text2(m).BackColor = RGB(VScroll11(0).Value, VScroll11(1).Value,
VScroll11(2).Value)
```

```
        Text2(m).Text = (VScroll11(0).Value & "," & VScroll11(1).Value & ","
& VScroll11(2).Value)
```

```
        m = 20
```

```
    End If
```

```
Next m
```

```
End Sub
```

Lebenslauf

Name: Monika Hölzel
Geburtsdatum: 11. 10. 1977
Geburtsort: Wien
Nationalität: Österreich
Adresse: A-1210 Wien
Ödenburgerstr.101

Ausbildung

1984 -1988 Volksschule in Wien
1988 - 1996 Neusprachliches Gymnasium, Wien 21
Juni 1996 Matura mit Gutem Erfolg
1996 - 1998 Universität Wien, Studium der Erdwissenschaften
1998 - 2000 Universität Wien, Studienrichtung Petrologie
seit 2000 Universität Wien, Studienrichtung Geologie
seit 2001 Diplomarbeit

Jobs

bis 1998 Diverse Anstellungen in der Gastronomie
1998 Führerin im Bergwerk des Technischen Museums Wien
Sommer 1998 Organisation und Mitarbeit am Kardiologenkongress, Messegelände Wien
1999-2000 Tutorin am Institut für Petrologie, UE: „Bestimmung von Gesteinen“
1999-2002 Laborarbeiten für das Naturhistorische Museum Wien (Mineralogisch-Petrologische Abteilung)
2001-2002 Tutorin am Institut für Geologie, „Übungen zur Allgemeinen Geologie“ und „Geologische Exkursionen“
2001-2002 Recherche für “Digital-Crystal Project “ (virtuelles Museum von Swarovski)
2002 Datenbankakquisition bei der RAG (Rohöl Aufsuchungsgesellschaft AG)
SS 2003 Tutorin am Institut für Geologie, „Übungen zur Allgemeinen Geologie“

Zusätzliche Ausbildung

Okt. 1999	ÖWAV-Symposium „Bergwässer“, Fieberbrunn/Tirol.
Nov. 2001	AUSTROSED 5, Seewalchen
Juni 2002	10-tägiger internationaler Kurs „SETI 3 - Sedimentation and Tectonic in Compressive Settings“, Grenoble/Frankreich
Okt. 2002	Kurs: „Visual Basic-Programmierung“, BOKU Wien
Nov. 2002	AUSTROSED 6, Seewalchen
Feb. 2003	8-tägiger interuniversitärer Kurs „Diagenese Klastischer Sedimente“, Jena/Deutschland

Vorträge und Poster

Nov. 2001	Vortrag bei AUSTROSED 5, Seewalchen: Sedimentologie und Quantifizierung von synsedimentärer Deformation in der Ingering-Formation; Fohnsdorfer Tertiärbecken
Jän. 2002	Geologisches Seminar: Sedimentologische Untersuchungen an der Ingering-Formation, Fohnsdorfer Becken.
Juni 2002	Poster bei PANGEO 2002: Quantifizierung von synsedimentärer Deformation in einem miozänen Delta (Ingering-Formation, Fohnsdorfer Tertiärbecken).

Publikationen

HÖLZEL, M., WAGREICH, M. und GRASEMANN, B. (2001): Sedimentologie und Quantifizierung von synsedimentärer Deformation in der Ingering-Formation (Fohnsdorfer Tertiärbecken). Mitt. Geoaustria – Ver. Geowiss. Stud. 45, 164-166.

HÖLZEL, M., WAGREICH, M. und GRASEMANN, B. (2002): Quantifizierung von synsedimentärer Deformation in einem miozänen Delta (Ingering-Formation, Fohnsdorfer Tertiärbecken). Abstr. Pangeo Austria I, 76 (Univ. Salzburg).

HÖLZEL, M. (submitted 2003): StratDraw - Automatic generation of stratigraphic sections from tabulated field data, Computers & Geosciences.

Ingering-Typus Profil

Geländeaufnahme in den Jahren 2001 und 2002 von Monika Hölzel

- Pelit

Silt

Feinsand

Mittelsand

Grobsand
- Kies

Congerien-schichten

Tuffit

Kalk
- Kohlestücke

Schrägschichtung

Konkretionen

224

Schichtnummer
- rot:

Korngrößenanalyse
- grün:

Schwermineralanalyse

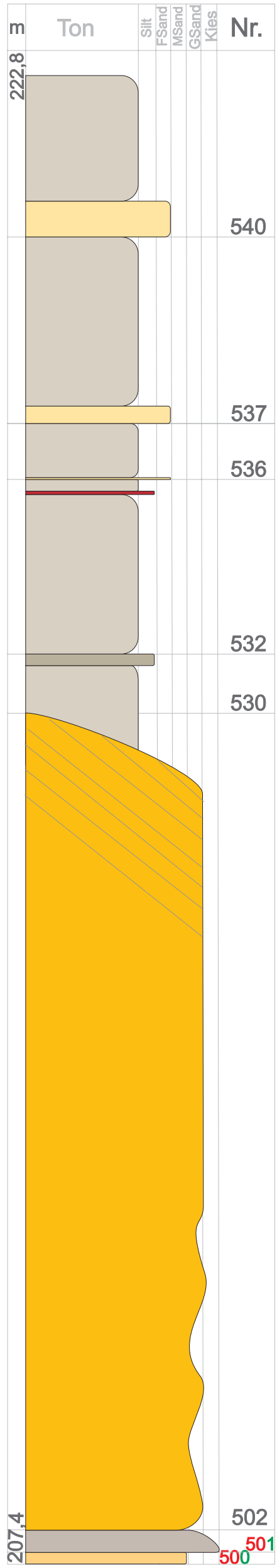
Profil-Ansicht 190°←→10°

Geländemaßstab 1:600

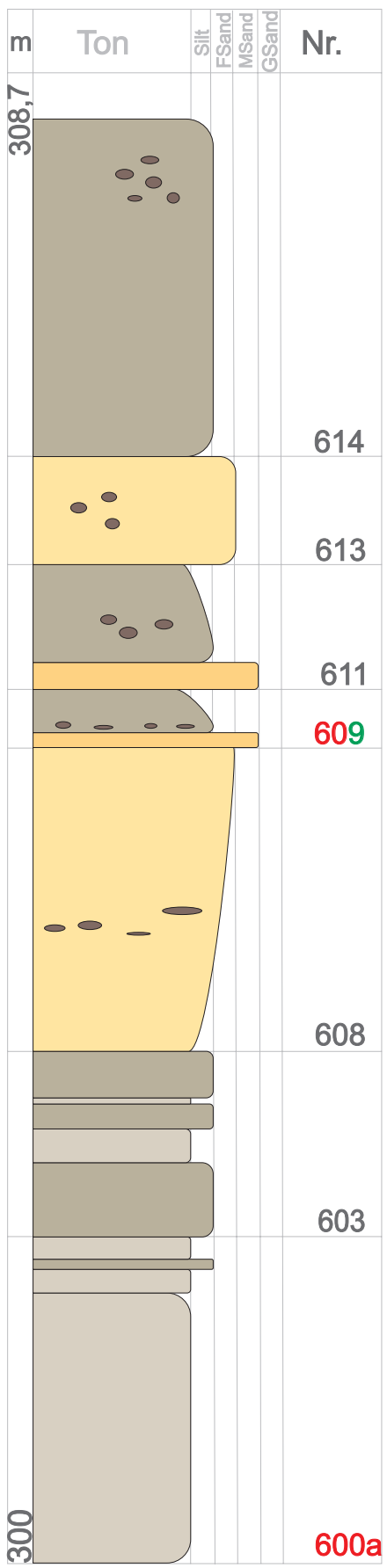
Profilmaßstab 1:50

BMN-Koordinaten
Ingering 6: 560 039/232 221; Sh: 689 m
Ingering 1: 559 440/233 252; Sh: 707 m

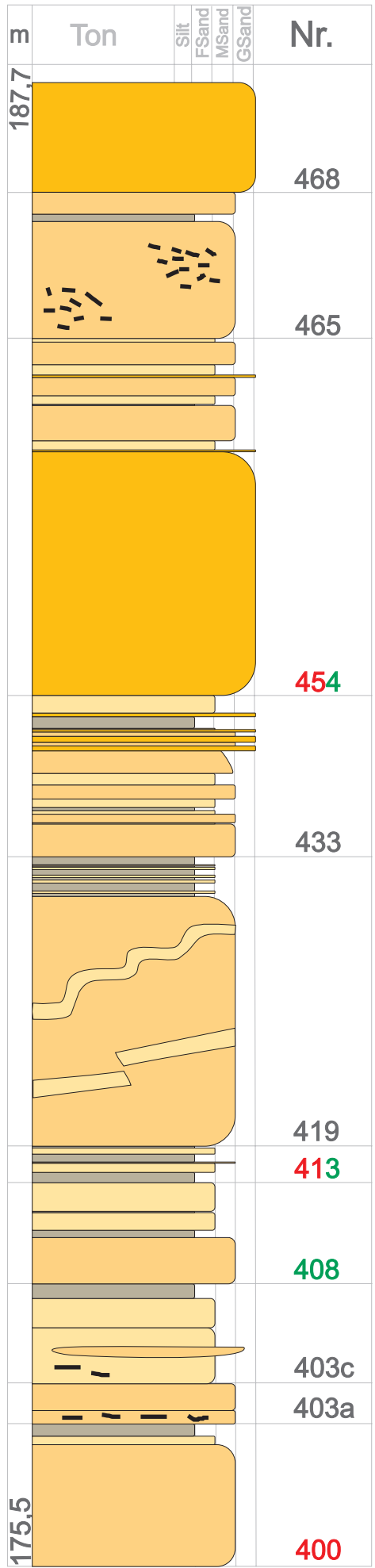
Ingering 5



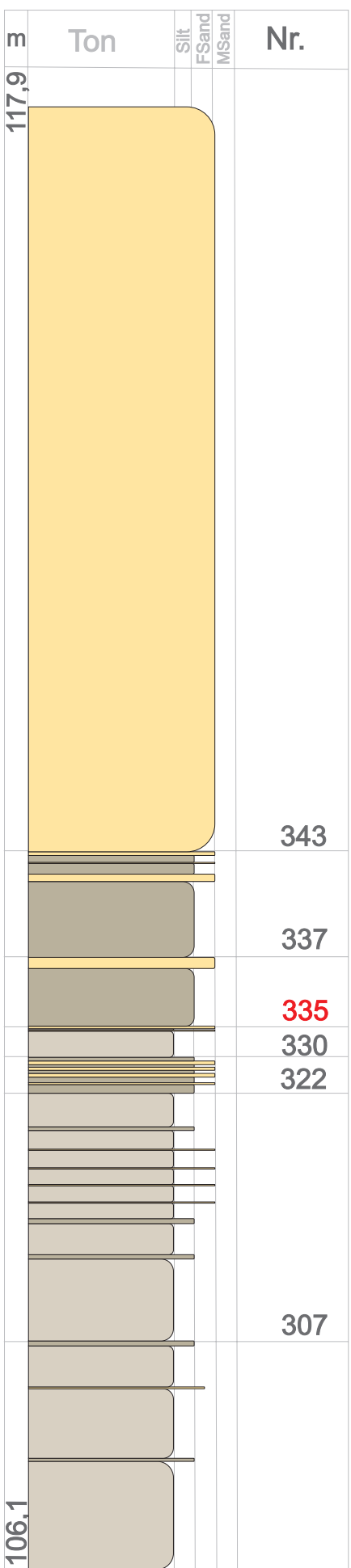
Ingering 6



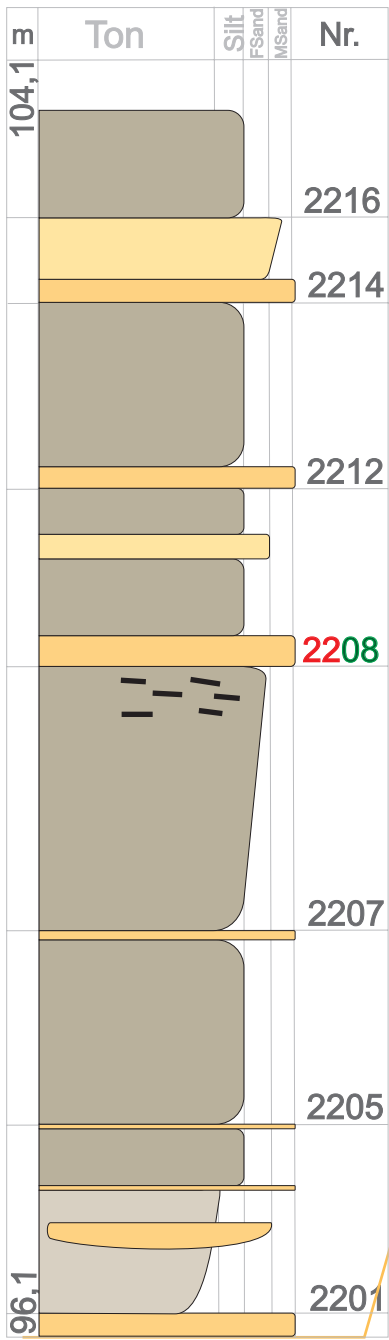
Ingering 4



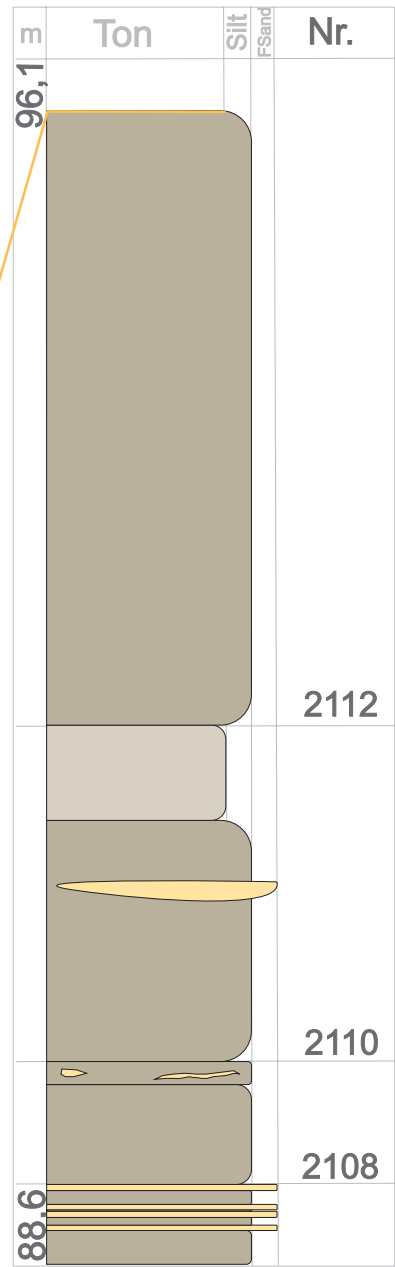
Ingering 3



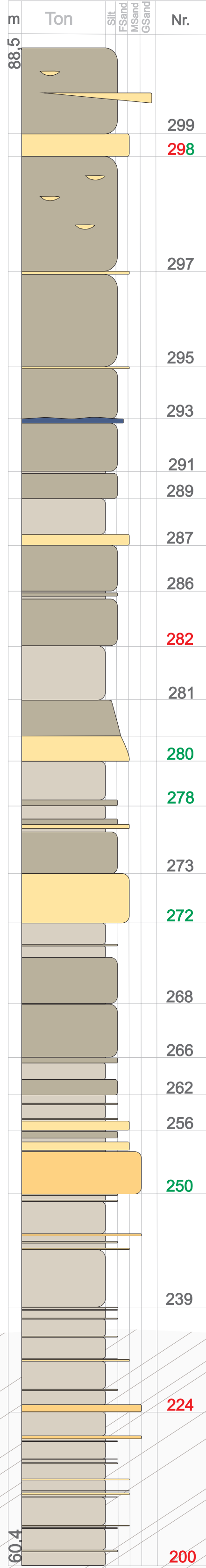
Ingering 22



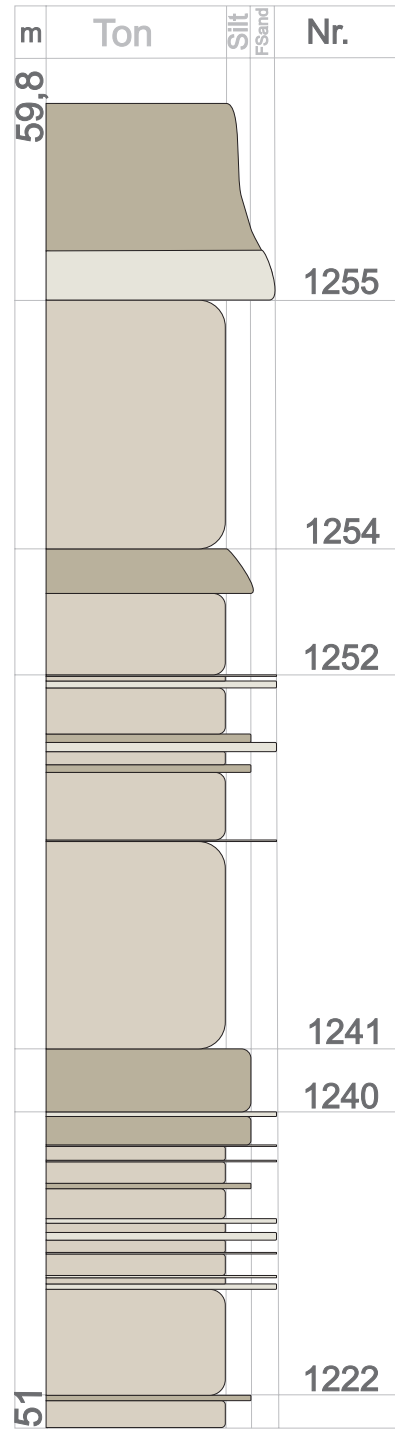
Ingering 21



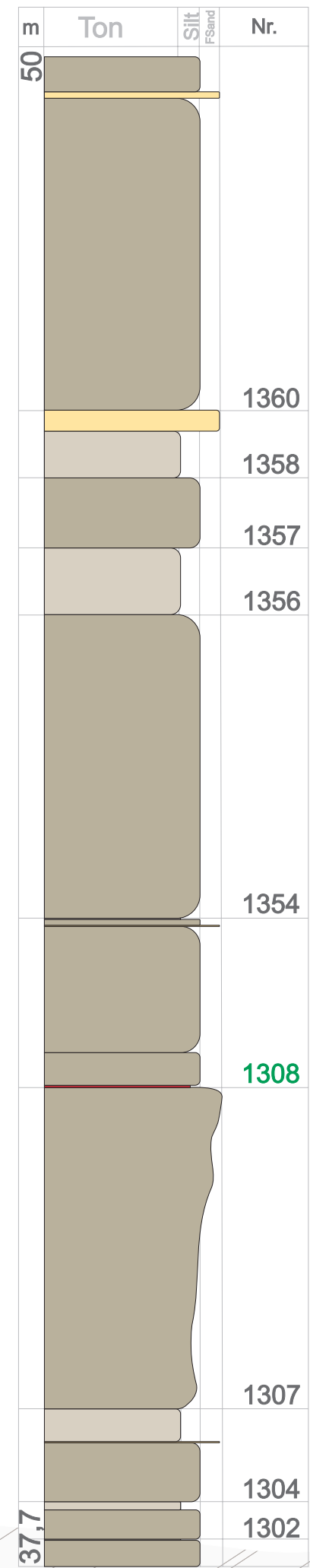
Ingering 2



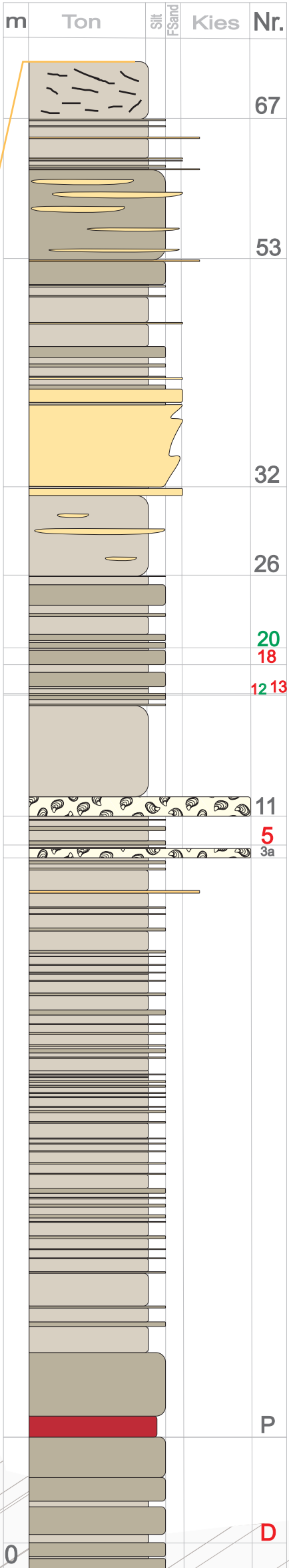
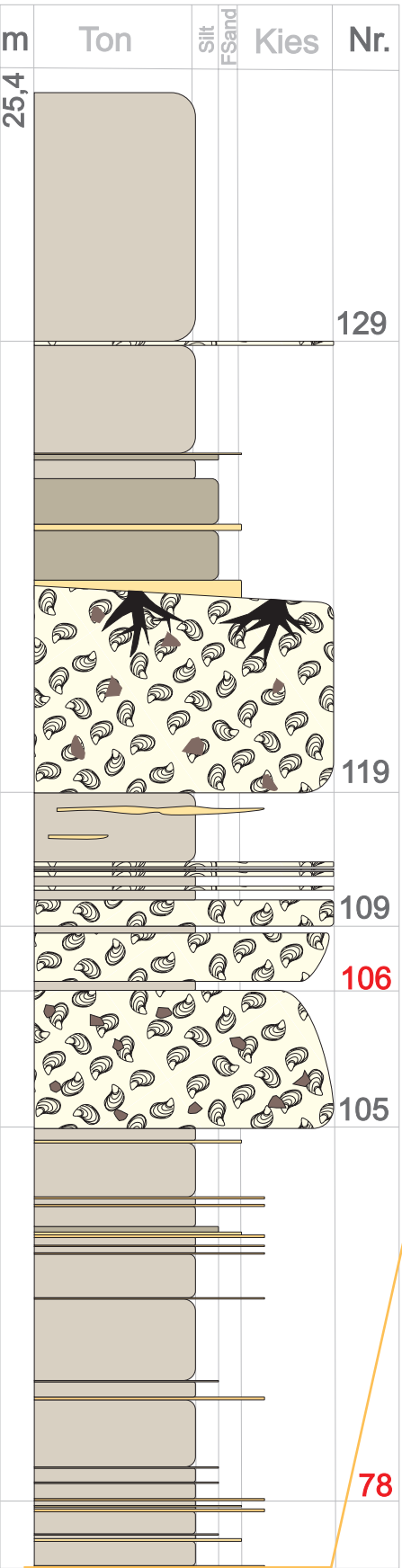
Ingering 12



Ingering 13



Ingering 1



Ingering 52

Ingering 5

Ingering 4

Ingering 3

Ingering 22

Ingering 21

Ingering 12

Ingering 13

Ingering 1

Ingering 6