

Untersuchung der Werfen - Gutenstein
Transition der Nördlichen Kalkalpen bei
Aflenz (Steiermark, Österreich)

Thomas Schnedlitz
(1330392)

Juni 2017,
Austria, Graz

Inhaltsangabe

| | | |
|----------|----------------------------------|-----------|
| 1 | Einleitung | 3 |
| 2 | Geologisches Setting | 4 |
| 3 | Methoden | 8 |
| 3.1 | Conodonten | 8 |
| 3.2 | Isotopen | 9 |
| 3.3 | Dünnschliffe | 9 |
| 4 | Profil | 11 |
| 5 | Dünnschliff Beschreibung | 22 |
| 6 | Schlussfolgerung | 35 |
| 6.1 | Interpretation | 35 |
| 6.2 | Vergleich zu Dolomiten | 39 |
| 7 | Danksagung | 40 |
| 8 | Literaturnachweis | 41 |

1 Einleitung

Die Nördlichen Kalkalpen sind ein Teil der Ostalpen und erstrecken sich vom Alpenrheintal bis Wien. Vorwiegend sind Dolomite, Kalkgesteine und Mergel anzutreffen, welche zwischen Oberperm und Jura abgelagert wurden. Die Nordkalkalpen überlagern die Grauwackenzone, ein Überbleibsel des variszischen Gebirges, welches im Süden dessen Basis bildet. Im Norden der Kalkalpen liegen die Flyschzone, das Helvetikum, sowie die subalpine Molassezone.

Die Präbichl-Formation ist die erste Ablagerung im Perm, die stark kontinental geprägt ist. Auf sie folgen die Werfener Schichten, welche bereits Karbonatgesteine aufweisen, jedoch immer noch hohe Anteile an Siliziklastiker enthalten. Anschließend wurden die Gutensteinschichten abgelagert, welche besonders durch ihre dunklen Karbonate hervorstechen. Die Steinalmschichten gliedern sich daraufhin an die Gutensteinschichten und es entwickelt sich immer weiter zu einer marinen Facies. (Tollmann 1976; Tollmann 1977-1986) Generell ist eine komplette Reihenfolge recht selten in den Nordkalkalpen anzutreffen, vor allem wenn man den Kontakt zwischen Werfener Schichten und Gutensteinerkalk sucht. Die weiche Werfen Formation, welche viel Mergel und mergelige Kalke beinhaltet wurde vor der Gutenstein Formation, welche aus harten, massiven Kalken besteht, überlagert. Dies begünstigt Störungen und Überschiebungen und lässt den Übergang in dieser Form selten intakt aufgeschlossen sein. Die Bürgeralm bei Aflenz ist dabei jedoch die große Ausnahme. Hier ist eines der wenigen Profile vorhanden bei dem dieser Übergang aufgeschlossen ist. Gerade dies macht diese Studie so interessant.

In der oben genannten Gesteinsabfolge hat das End-Permische Massenaussterbeereignis stattgefunden, welches eine sehr lange Recovery Zeit, mit mehreren erneuten Krisen (z.B. Smith-Spath Krise) hatte (Stanley 2009)). Der untersuchte Aufschluss befindet sich genau in dieser Recovery Zeit und darum findet man hier recht wenige Fossilien, was eine Datierung der Reihenfolge erschwert. Ebenfalls steht noch kein genaues Alter für die Werfen - Gutenstein Transition, welche wir in dieser Arbeit festlegen wollten, fest. Sie dürfte sich aber ungefähr im späten Olenekium befinden. Dazu wurden neben Geländearbeit, Dünnschliffen und Isotopen auch mit Conodonten gearbeitet. Wegen technischer Probleme und einem Mangel an Conodonten, konnte dieses Ziel nicht erreicht werden, jedoch wurde eine detaillierte Basis für weitere Studien dieser lithologischen Grenze gelegt.

2 Geologisches Setting

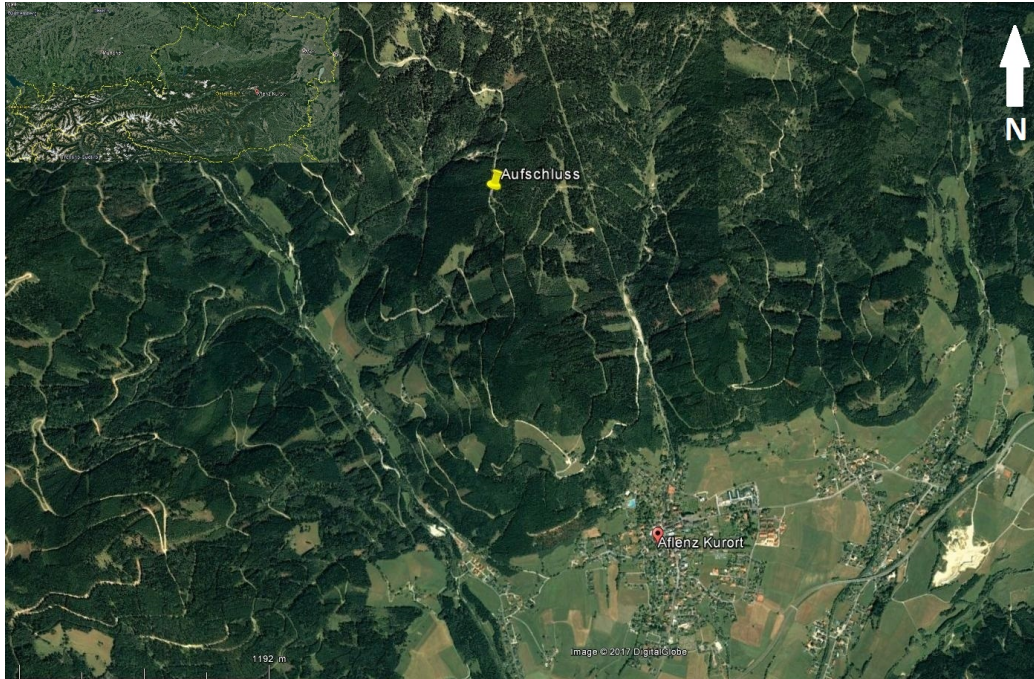


Abbildung 1: GoogleEarth Image des Arbeitsgebietes. Im Süden liegt der Kurort Aflenz (oranger Pin). Der Aufschluss (gelber Pin) befindet sich auf der Mautstraße der Bürgeralm. (GoogleEarth, 11.06.2017)

Der bearbeitete Aufschluss befindet sich nördlich des Kurortes Aflenz, in der Steiermark, entlang der Panoramastraße der Bürgeralm (siehe Abbildung 1). Der liegende Teil des Profils startet inmitten der Werfener Schichten und endet 65 Meter weiter im Gutensteiner Kalk. Man kann eine deutliche Veränderung der Farbe des Gesteins erkennen (siehe Abbildung 2 und 3). Die Koordinaten wurden mittels GoogleEarth genommen und lauten: 47.5599 N / 15.2265 E

Die Werfener Schichten der Nördlichen Kalkalpen sind zweigeteilt. Sie gehören sowohl zum Norischen Deckensystem, als auch zum Juvavischen Deckensystem (Mandl, 2015).

Untersuchung der Werfen - Gutenstein Transition der Nördlichen Kalkalpen bei Aflenz

Die Norische Decke ist die Oberste der Grauwackenzone, welche sich vom Ennstal im Westen, bis ins Wiener Becken im Osten zieht. Im Liegenden befindet sich die Präbichl-Formation, welche vorwiegend aus Grobklastika besteht. Die darauf liegenden rotbraun geschichteten Quarz-Sandsteine werden noch zu ihr gezählt. Im Hangenden der Präbichl-Formation sind vermehrt Silt- und Tonsteinlagen anzutreffen. Diese prägen den Übergang zu den dünnbankigen Werfener Schichten, welche teils fast schiefrigen Charakter aufweisen. Im Hangenden treten vermehrt Kalklagen auf, die jedoch keine Beziehung zu den auflagernden Mitteltrias-Gesteinen der Mürzalpen Decke haben. Die jüngsten Gesteine der Norischen Decke sind die Rauwacken (Mandl, 2015).

In der Mürzalpen Decke des Juvavischen Deckensystems, bilden die Werfener Schichten die ältesten Gesteine. Auf sie folgt die Gutenstein-/Steinalm-Formation der Mitteltrias, sowie der Hallstätter Kalk und der Ramminger Kalk. Darüber liegt die Wetterstein Formation, mit ihren mächtigen Karbonaten. Dabei stellt der Ramminger Kalk Hangsedimente und der Hallstätter Kalk Beckensedimente dar. Dominiert wird die Decke von den Wetterstein Karbonaten, deren Dolomite sich lagunär und die Kalke sich im Riffbereich gebildet haben. Die Überschiebungsfläche der Mürzalpen Decke auf die Norische Decke lässt oft keine klare Schichtfolge zu. So grenzt mancherorts Wettersteindolomit an die Präbichl Formation, gelegentlich fehlen die Werfener Schichten in durchgehend erscheinenden Schichtfolgen. Ebenfalls kann es vorkommen, dass Wettersteindolomit direkt auf den Werfener Schichten liegt und die mitteltriassischen Schichtglieder komplett fehlen. Der Grund für das so seltene Antreffen des Werfen-Gutensteiner Überganges liegt darin, dass die Mergel, beziehungsweise die mergeligen Kalke der Werfener Schichten weicher sind, als die massiven Kalke der Gutensteiner Schichten. Durch den deutlichen Materialkontrast werden Störungen begünstigt und es erklärt recht gut, wieso so selten beide Formationen in einem Aufschluss zu finden sind. Dies ist jedoch nicht überall der Fall. So liegen im Arbeitsgebiet die einzelnen Schichten beinahe ungestört vor und lassen eine relativ gute Untersuchung zu. (Mandl, 2015)



Abbildung 2: Diese Fotos zeigen das Profil, welches im Zuge dieser Arbeit untersucht wurde. Das Liegende befindet sich oben links, das Hangende unten rechts. Deutlich zu sehen ist, wie sich die Farbe des Gesteins ändert, je weiter man ins Hangende kommt.

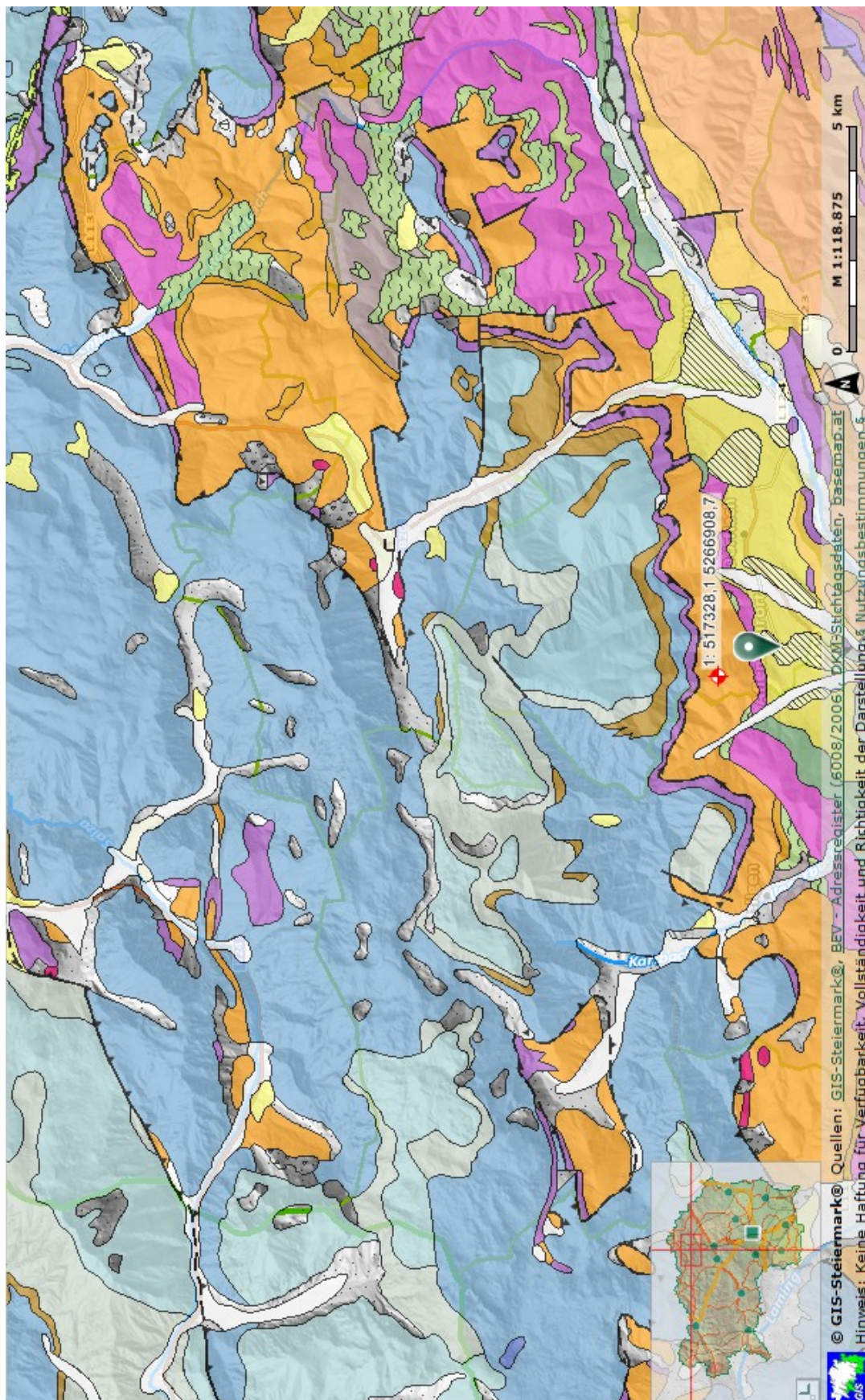


Abbildung 3: Geologische Karte des bearbeiteten Gebietes. Von Aflenz (Pinnadel) Richtung Norden: [Pleistozän] Inneralpines Jungtertiär (gelb); [Altpaläozoikum] Grauwackenzone: Blassneck-Porphyr (pink) und Feinschichtige Grauwackenschiefer (grün); Juvavisches Decknesystem: [Perm - Untertrias] Werfener Schichten (orange); [Karbonate der Mittel- und Obertrias] Gutenstein Kalk und Dolomit (Violet), Wettersteinkalk (blau), Leckkogel Schichten (braun), Hallstätter Kalke (hellblau). (GIS Steiermark 10.05.2017)

3 Methoden

Die einzelnen Schichten des Arbeitsgebietes wurden für drei verschiedenen Labormethoden beprobt und jede Schicht wurde bereits In Situ untersucht. Im Gelände wurde das Gestein mittels Salzsäure (HCl 3%) in Karbonat und Dolomit eingeteilt und mittels Ritzen auf Quarzgehalt untersucht. Ebenfalls wurde vor Ort die Klassifikation nach Dunham (1962) angewandt.

3.1 Conodonten

Für diese Untersuchung standen vier Proben (BSA b087; BSA b007; BSA 085; BSA 140), welche über das gesamte Profil verteilt waren, zur Verfügung. Die Proben wurden in einem Gemisch aus 90% Wasser und 10% Ameisensäure (CH_2O_2), über die Dauer eines Monats aufgelöst.

Das Gemisch wurde alle drei bis vier Tage erneuert. Beim Auswechseln muss darauf geachtet werden, dass sich die Conodonten auf den Boden abgesenkt haben. Dies kann erreicht werden, durch wiederholte Zugabe von kaltem Wasser. Nach Entleeren der Säure sollte man die Gesteine abschwemmen, um den Überzug zu entfernen.

Die unlöslichen Rückstände werden mittels Nasssiebverfahren in drei Fraktionen unterteilt: $1mm$ bis $0.125mm$; $0.125mm$ bis $0.080mm$; $<0.080mm$. Alle Rückstände, welche größer als $1mm$ sind, werden in einem neuen Behälter weiter aufgelöst. Die restlichen Fraktionen werden separat aufbewahrt und in einem Trockenschrank getrocknet. Anschließend können die Rückstände unter einem Auflichtmikroskop nach Fossilien durchsucht werden.

Um weniger Material zu durchsuchen, kann man die ungelösten Partikel mittels *Heavy Liquid* weiter separieren. Dabei wird eine Flüssigkeit mit einer Dichte von $2.8 g/cm^3$ mit den Proben vermischt und durch Filter geschickt. Dadurch wird das Material anhand seiner Dichte separiert und in verschiedenen Filtern aufgefangen. Der Nachteil sind vor allem die Kosten, welche den Einsatz bei kleiner Probenmenge sinnlos machen.

Die Proben dieser Arbeit wurden vorwiegend ohne *HeavyLiquid* untersucht, jedoch war die Ausbeute an Fossilien äußerst gering und nicht geeignet zur weiteren Untersuchung. Vereinzelt konnten Fischreste geborgen werden. Es wurden jedoch in allen vier Schichten keine Conodonten gefunden. Dies lässt keine zeitliche Einteilung, anhand von Conodonten, in den untersuchten

Schichten zu.

3.2 Isotopen

Entlang des Profils wurde jeden Meter eine Probe, zur Bestimmung der stabilen Isotope, genommen. Die 78 Proben wären eine gute Alternative zur Conodonten-Methode gewesen, um die zeitliche Einteilung der einzelnen Schichten vorzunehmen. Des Weiteren war geplant mit ihnen das Klima und die Paläoproduktivität zu rekonstruieren. Da jedoch für einen längeren Zeitraum das benötigte Isotopenlabor in Wartung war, konnten keine Ergebnisse erzielt werden.

Die Proben wurden bereits im Labor angeschnitten und anschließend mit Salzsäure angeätzt. Daraufhin wurden sie mithilfe eines Zahnarztbohrers stellenweise beprobt und das entstandene Pulver in Phiolen aufgefangen. Somit wären sie eigentlich bereit im Isotopenlabor weiter untersucht zu werden.

3.3 Dünnschliffe

Als dritte Untersuchungsmethode wurden entlang des Profils, ungefähr alle zwei Meter, Proben für Dünnschliffe entnommen. Die anfänglich 50 Proben sind, anhand von teils stark zerklüfteten Schichten, auf 46 reduziert worden, wobei diese auch nur durch besondere Behandlung die Prozesse im Labor überstanden.

Anfangs wurden die Proben sortiert und jene, stark zerklüfteten, wurden in Gips eingebettet. Anschließend wurden die Proben mittels diamantbesetzten Sägeblattes in $5 \times 5 \times 1 \text{ cm}$ große Klötzchen geschnitten. Bei den stark zerklüfteten Proben sollte man eine Schicht eines Kleber/Härter Gemisches aufbringen und einen Tag einziehen lassen. Danach wurden die Klötzchen mit Schleifmittel der Körnung 125, 200 und 600 auf einer Seite geschliffen. Ebenfalls wurden Glasblättchen mittels 600er Pulver auf einer Seite aufgeraut. Die Klötzchen wurden daraufhin, mithilfe eines Kleber/Härter Gemisches (im Verhältnis 7:1), auf die Glasplättchen aufgebracht und auf einer Heizplatte bei 50°C getrocknet. Nach einem Tag wurden von den Klötzchen die überschüssigen Gesteinsanteile abgeschnitten, sodass nur noch ungefähr 1 mm Material auf dem Glasplättchen verblieb. Die Proben wurden nun erneut mit dem 600er

Untersuchung der Werfen - Gutenstein Transition der Nördlichen Kalkalpen
bei Aflenz

Pulver geschliffen, bis man einzelne Fossilien gut erkennen konnte.
Die Auswertung der Dünnschliffe folgt in einem eigenen Kapitel.

4 Profil

Das 65 Meter lange aufgenommene Profil im Arbeitsgebiet (siehe Abbildung 1, 2 und 3), ist nachfolgend in drei Abbildungen grafisch dargestellt (siehe Abbildung 5, 6 und 7). Zeitlich befindet es sich im Olenekian zu Anisian. Dabei ist einerseits eine grobe Schichtunterteilung, anhand von Farben, als auch eine genauere Charakterisierung der einzelnen Schichten, mittels Verwitterungsprofil, gegeben. Ein zusammenfassendes Profil wird bereits am Anfang dieses Kapitels dargestellt (siehe Abbildung 4). Es wird nun von der liegendsten Schicht *BSAb* 108, in die hangendste Schicht *BSA* 148 durchbesprochen. Die Interpretation folgt am Ende des Kapitels. Die vorkommenden Schichten sind *Kalk* [K], *mergeliger Kalk* [mK], *kalkiger Mergel* [kM], *Mergel* [M] und *Sandstein* [Ss].

Die Klassifikation der Gesteine wird anhand von Dunham (1962) und Embry & Klovan (1972) vorgenommen.

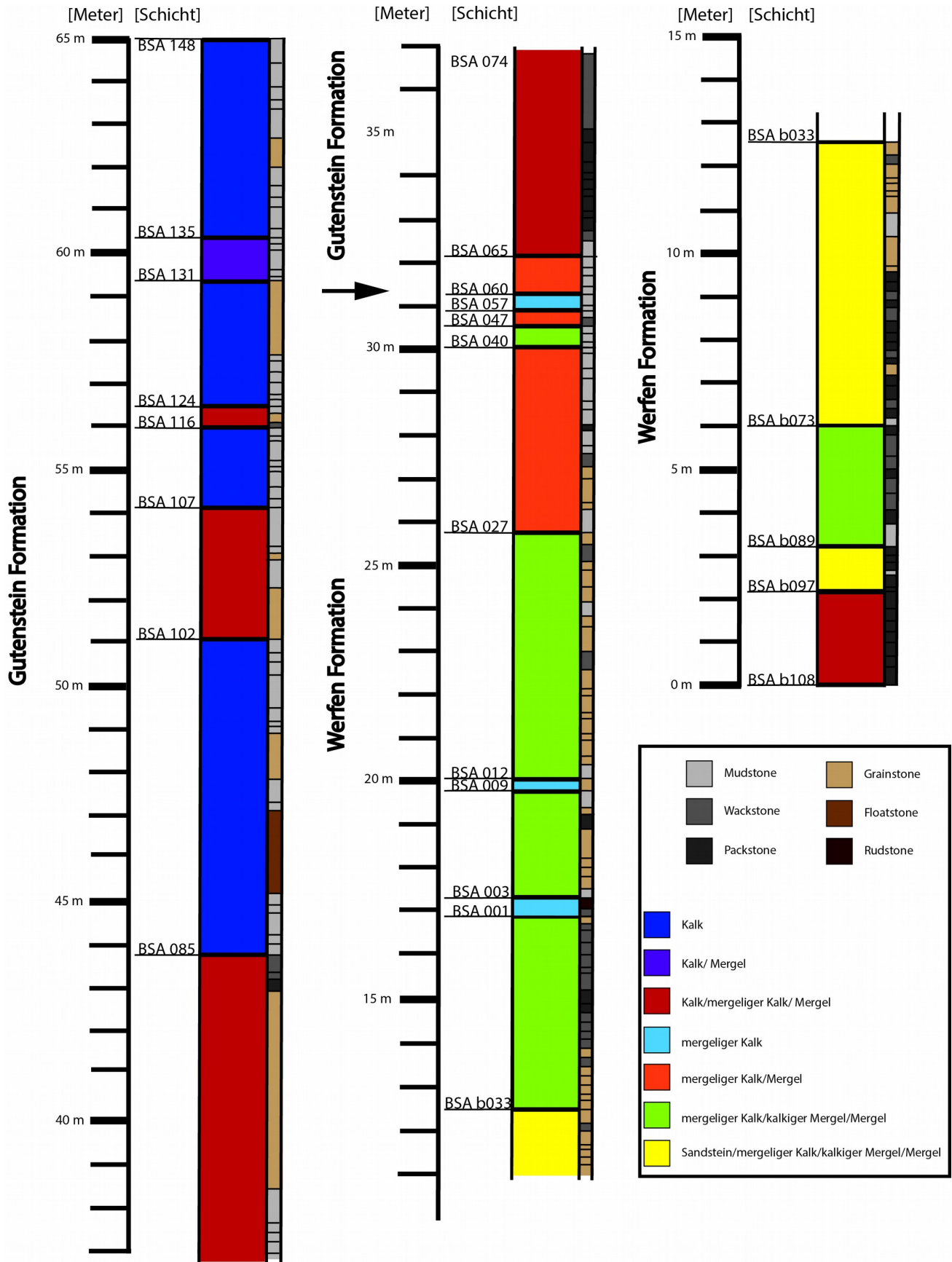


Abbildung 4: Übersichtsprofil des bearbeiteten Gebietes. Entlang der 65m des Profils wurde jedes Gestein charakterisiert und zu größeren Einheiten zusammengefasst. Der Pfeil zeigt die vermutete Grenze zwischen den beiden Formationen an.

Untersuchung der Werfen - Gutenstein Transition der Nördlichen Kalkalpen bei Aflenz

Die liegenste Einheit erstreckt sich von *BSAb* 108, bis inklusive *BSAb* 098. Es sind vorwiegend Packstones anzutreffen, welche als mergeliger Kalk charakterisierbar sind. Lediglich die liegenste Schicht (*BSAb* 108) wurde als reiner Kalk angesprochen. Die Schichtmächtigkeit variiert zwischen *7cm* und *25cm*, wobei die hangenste Schicht, mit ihren *45cm*, deutlich mächtiger ist. Die Kalkschicht hat dagegen eine Mächtigkeit von *56cm* vorzuweisen.

Die Karbonate dieser Einheit sind immer durch geringmächtige Mergelablagerungen voneinander getrennt und konnten in den Abbildungen, anhand des Maßstabes, nicht dargestellt werden.

Ein Großteil der Gesteine weist eine hellgraue Farbe auf. Nur die Schicht *BSAb* 107 hat eine dunkelgraue Eigenfarbe. Ebenfalls anzumerken ist, dass *BSAb* 100 ein etwas dunkleres Grau aufweist und besonders mergelig ist.

Das darüberliegende Gesteinspaket beginnt mit *BSAb* 097 und erfasst noch die Schicht *BSAb* 090. Es beginnt mit einer geringmächtigen Sandsteinschicht, gefolgt von drei Schichten mergeligen Kalk, mit *36*, *12* und *9cm*, welcher als Packstone angesprochen wurde. Daran anschließend kommt eine Schicht kalkiger Mergel, gefolgt von zwei dünnen Sandsteinschichten, welche wiederum von kalkigen Mergel überlagert werden. Die kalkigen Mergel Schichten haben eine Mächtigkeit von *14cm* und eine graue Farbe mit einzelnen ockernen Einsprenglingen. Der Sandstein hingegen, ist jeweils nur *7cm* dick. Auch hier ist jede Schicht durch eine Mergellage getrennt.

Eine Schicht die besonders hervortritt ist die *BSAb* 094, mit ihrer braun-grauen Farbe, welche rote Inklusionen aufweist (weitere Untersuchung mittels Dünnschliff).

Im Abschnitt von *BSAb* 089 bis *BSAb* 074 stößt man auf eine Abfolge von vorwiegend mergeligem Kalk und Mergel, mit kurzen Unterbrechungen durch kalkigen Mergel. Die Mergelschichten sind auch hier grafisch nicht darstellbar. Der unterste Bereich besteht aus einer Wechsellagerung aus mergeligem Kalk und Mergel. Dabei schwankt die Mächtigkeit der Schichten zwischen *5cm* und *15cm*. Grafisch wurde dieser Abschnitt als eine Schicht dargestellt, da die Schichten sich kaum voneinander unterscheiden. Im Gelände wurde das mattgraue, leicht ockerne Material als Packstone identifiziert. Der darüberliegende kalkige Mergel besitzt eine braungraue Farbe und ist *33cm* mächtig. Hierbei dürfte es sich ebenfalls um Packstone handeln.

Die Schichten *BSAb* 083 und 082 sind erneut als mergeliger Kalk, mit einer

Untersuchung der Werfen - Gutenstein Transition der Nördlichen Kalkalpen bei Aflenz

Dicke von je 15cm , aufgefasst worden. Es handelt sich hier jedoch um Wackstone, welcher ebenfalls ein mattes Grau als Farbe besitzt.

Die anschließende Schicht aus kalkigen Mergel ist besonders reich an Ostracoden und wird als Wackstone bis Packstone im Feld bezeichnet. Das hangendste Paket aus Schichten ist erneut mergeliger Kalk, dessen Mächtigkeit zwischen 7cm und 41cm schwankt. Die Farbe ist ein sehr mattes Grau, welches nur in *BSAb 079* zu einem Dunkelgrau wird. Eingeteilt werden die Schichten als Wackstone bis Packstone.

Die nächste Einheit umfasst die Schichten *BSAb 073* bis einschließlich *BSAb 034*. Mergel ist allgegenwärtig zwischen den Schichten. Dieser Abschnitt besteht aus einer Vielzahl von geringmächtigen Schichten, welche daher in der Grafik zu verschiedene Paketen zusammengefasst werden mussten. Sandstein ist in *BSAb 072, 070, 068, 062, 061, 057, 052, 051, 047, 043, 039, 034* vertreten und weist somit eine hohe Häufigkeit auf. Die Mächtigkeit schwankt zwischen 5cm und 25cm .

Die kalkigen Mergel sind in den Schichten *BSAb 073, 069, 067, 054, 053, 046, 045, 044* und *041* vertreten, wobei jede Schicht zwischen 10cm und 25cm mächtig ist. Besonders viele Schichten sind in der Sektion um *BSAb 041* anzutreffen, welche aufgrund ihrer geringen Mächtigkeit, in der Grafik zu drei großen Bänken zusammengefasst wurden. Die restlichen Schichten sind als mergeliger Kalk zu identifizieren und haben Mächtigkeiten von 4cm bis 29cm . Das Gestein ist vorwiegend als Packstone im liegenden Bereich angesprochen worden und über *BSAb 042* als Packstone bis Grainstone.

Die Schichten *BSAb 033* bis *BSAb 001* bestehen vorwiegend aus mergeligem Kalk/Mergel Wechsellagerungen, welche bei *BSAb 025, 024, 019* und *008* von kalkigen Mergel unterbrochen werden. Die mergeligen Kalke besitzen eine graue Farbe mit ockernem Einfluss und sind im Liegenden mit 5cm bis 11cm deutlich geringmächtiger wie die hangende Schicht mit 34cm . Die Karbonate sind, wie oben bereits erwähnt, durch dünne Mergellagen unterbrochen. Sie haben Mächtigkeiten zwischen 4cm bei *BSAb 031* und 42cm bei *BSAb 010*. Die liegenden Schichten sind dunkelgrau und besitzen ähnliche Mächtigkeiten. Die etwas hangenderen mergeligen Kalke weisen ein weniger dunkles Grau als Farbe auf, wobei sie durch Fluide im Randbereich deutlich gefärbt sind und eine ockerne Farbe aufweisen. Zwischendurch sind manche Schichten bereits im Feld als fossilreich einzuteilen, wie zum Beispiel die

Untersuchung der Werfen - Gutenstein Transition der Nördlichen Kalkalpen bei Aflenz

Schicht *BSAb* 004, welche im Kapitel Dünnschliffe näher untersucht wird. In den höheren Schichten sind deutlich mehr Komponenten zu erkennen. Die Einteilung nach Dunham (1962) weist die meisten Gesteine als Packstone bis Grainstone aus, wobei zwischendurch vereinzelt Wackstones identifizierbar sind.

Darauf folgt eine kurze Einheit an mergeligem Kalk, von *BSA* 001 bis zur ersten dickeren Mergelschicht bei *BSA* 003. Dabei ist diese Einheit aus Kalk nicht durch Mergel unterbrochen, jedoch braun verwittert. *BSA* 002 besteht aus mehreren Schichten, mit weniger als je 4cm Mächtigkeit. Der Kalk ist durch Wasser bräunlich verwittert, ist sonst jedoch besonders dunkelgrau. *BSA* 001 ist eine 30cm dicke Schicht, welche sehr fossilreich ist. Das Karbonat wurde als Grainstone identifiziert.

BSA 003 bis *BSA* 008 besteht vorwiegend aus Mergel und kalkiger Mergel Wechsellagerung, welche kurz von einer Einheit mergeliger Kalk unterbrochen wird. In der Schicht *BSA* 005 wurden rote Inklusionen erkannt, sowie bereits im Feld als Bivalvenführend bestimmt. Die Karbonate sind vorwiegend von einer hellgrauen Farbe und fallen in die Klassifikation des Grainstones.

Die Schichten *BSA* 009, *BSA* 010 und *BSA* 011 sind gleich zu charakterisieren wie *BSA* 001 und *BSA* 002.

Auf die kalkige Mergel Einheit folgt erneut eine Wechsellagerung aus kalkigen Mergel, mergeligem Kalk und Mergel. Diese Einheit erstreckt sich bis *BSA* 026 und wird durchgehend als Grainstone angesprochen. Mergelige Lagen sind hier besonders stark vertreten und erreichen zum Teil auch größere Mächtigkeiten. Oft kann man grüne Lagen im Mergel erkennen. Die kalkigen Mergel Schichten sind teilweise von braunen Linien durchzogen.

Im Hangenden verschwindet der kalkige Mergel und es kommt zu einer längeren Phase, in der sich Mergel und mergeliger Kalk abwechseln. Die Schichten *BSA* 027 und *BSA* 029 sind noch als Grainstone anzusehen, danach folgt jedoch eine Umstellung zu Mudstone. Der mergelige Kalk variiert in seiner Mächtigkeit, vom Liegenden mit 30cm, zu 5cm im Hangenden. In manchen mergeligen Kalk Schichten sind Spuren von Bioturbation zu erahnen. Grau und Hellgrau sind die vorwiegenden Gesteinsfarben. Die Mergelschichten sind

Untersuchung der Werfen - Gutenstein Transition der Nördlichen Kalkalpen bei Aflenz

erneut teilweise grün gefärbt. Dies ist vor allem in *BSA 034* zu sehen.

Die Schichten *BSA 040* bis *BSA 046* sind, wie bei *BSA 012* bis *BSA 026*, durch eine Wechsellagerung von mergeligem Kalk, kalkigen Mergel und Mergel charakterisiert. Hier sind jedoch die Mächtigkeiten deutlich geringer und variieren zwischen *5cm* und *15cm*. Es dürfte sich um Mudstone handeln. Der mergelige Kalk ist vorwiegend hellgrau und hat oft braune Einfüße. Bei *BSA 046* findet man im kalkigen Mergel rote Inklusionen.

Die Einheit von *BSA 047* bis *BSA 056* besteht erneut aus mergeligem Kalk, welcher sich mit Mergel abwechselt. Die mergeligen Kalk Schichten sind sehr geringmächtig und schwanken zwischen *4cm* und *10cm*. Es handelt sich dabei um Mudstone. Abgesehen von der braunen Färbung des Karbonates, wurden keine Besonderheiten im Gelände erkannt. Der Mergel ist erneut auf *0.5cm* zurückgegangen und wurde in der Abbildung 6 gesammelt dargestellt.

Die Schichten *BSA 057*, *BSA 058* und *BSA 059* sind mergelige Kalke, welche als Mudstone angesprochen werden. Sie sind zwischen *8cm* und *15cm* mächtig und von hellgrauer Farbe, welche teilweise ins Braune übergeht.

BSA 060 bis *BSA 064* sind ähnlich wie *BSA 047* bis *BSA 056*. Die mergeligen Kalke sind meist um die *7cm* dick und werden durchgehend von *0.5cm* dicken Mergellagen unterbrochen. Die Farbe ist hellgrau, jedoch ist das Karbonat auffallend homogen. Dadurch wurde es als Mudstone identifiziert.

Die folgende Einheit erstreckt sich von *BSA 065* bis *BSA 084* und man trifft zum ersten Mal auf reinen Kalk. Dieser tritt zwar nur in den Schichten *BSA 070*, *BSA 074* und *BSA 079* auf, dafür in den letzten beiden mit großer Mächtigkeit. Der Kalk ist stark verwittert und hat teilweise spröde Deformation erlebt. Mergel tritt nur noch selten zwischen den Schichten auf und wenn dann mit bis zu *5cm* Dicke. Die restlichen Gesteine sind als mergeliger Kalk anzusprechen. Dieser verliert ins Hangende zunehmend seinen Braunton und verändert seine Farbe von hellgrau zu grau. Bis auf wenige Ausnahmen sind die Schichten mit *10cm* sehr dünnbankig. Des Weiteren sind um den deformierten Kalk bei *BSA 079* viele Calcitgänge ersichtlich. Die Gesteine werden

Untersuchung der Werfen - Gutenstein Transition der Nördlichen Kalkalpen bei Aflenz

vorwiegend als Mudstone bis Packstone angesprochen, wobei zwischen *BSA* 074 und *BSA* 080 Mudstone vorherrscht.

Im Hangenden bilden die Schichten *BSA* 085 bis *BSA* 101 eine durchgehende Abfolge aus Kalk. Sie variieren stark in ihrerer Mächtigkeit, wie man in Abbildung 5 gut erkennen kann. Die Farbe ist vorwiegend dunkelgrau, wobei *BSA* 094 eine hellgraue Unterbrechung darstellt. Normale Grautöne treten bei *BSA* 085, *BSA* 096 und *BSA* 097 auf. Im Kernbereich der Einheit findet man das Gestein teils sehr gestört vor und bei *BSA* 095 liegt eine deutlich erkennbare Verfaltung vor. *BSA* 090 ist die mächtigste Ablagerung und besteht, wie die gesamte Einheit, aus Mudstone.

Auf die reine Kalkeinheit folgt nun eine kurze Sequenz aus Mudstone, in der sich Kalk und mergeliger Kalk abwechseln. *BSA* 102 ist eine zum Teil gestörte Kalkschicht von dunkelgrauer Farbe. Auf ihr liegt eine mergelige Kalkschicht, welche zwischen 71cm und 44cm variiert. *BSA* 104 und *BSA* 106 sind erneut Kalkschichten, welche hellgraue Farbe besitzen. Zwischen ihnen befindet sich eine Schicht aus mergeligen Kalk, welche erneut zwischen 10cm und 15cm variiert, je nach Ort der Messung. Die mergeligen Kalkschichten sind grau mit braun-orangen Verwitterungsspuren. Des Weiteren sind die Gesteine leicht geschiefert.

Die Schichten *BSA* 107 bis *BSA* 115 bilden erneut eine Einheit aus Kalk, welche ebenfalls als Mudstone klassifiziert wird. Ebenfalls liegt in den höheren Schichten das Gestein gestört vor. Die Farbe ist vorwiegend Dunkelgrau, wobei viele bereits Schwarz sind. Eine Ausnahme stellt *BSA* 114, mit seiner grauen Farbe dar. Calcitgänge sind besonders im schwarzen Gestein von *BSA* 110 vertreten. Auffallend ist, dass es hier keine einzelne Schicht von besonderer Mächtigkeit gibt, sondern alle relativ gleich der gleichen Dick entsprechen. Die Schwankungsbreite ist zwischen 5cm und 27cm, mit einem Ausreißer von *BSA* 114 mit 59cm.

Im Bereich *BSA* 116 bis *BSA* 123 tritt erneut mergeliger Kalk zwischen den Kalklagen auf. Die Schichten sind zwischen 1cm und 12cm mächtig und von hellgrauer Farbe. Über dem Kalk von *BSA* 116 treten zwei Schichten aus mergeligen Kalk auf, welche von einer Kalk/Mergel Wechsellagerung gefolgt werden. Die Kalke sind dunkelgrau bis schwarz gefärbt. *BSA* 120 ist eine

Untersuchung der Werfen - Gutenstein Transition der Nördlichen Kalkalpen bei Aflenz

9cm dicke Schicht Kalk mit roten Inklusionen, welche ebenfalls von Mergel bedeckt ist. Darüber folgen noch zwei Schichten mergeligen Kalkes. Das Karbonat wurde vorwiegend als Mudstone bis Wackstone bezeichnet.

Die folgende Einheit besteht wieder nur aus Kalkschichten, welche im Liegenden zwischen 9cm und 32cm Dicke schwanken. Im Hangenden überlagert eine 167cm mächtigen Schicht. Teilweise sind die als Mudstone zu klassifizierenden Schichten deformiert. Des Weiteren wechseln sich hellgraue und dunkelgraue Schichten ab.

Von *BSA* 131 bis *BSA* 134 ist ein erneutes Vorkommen von Mergel in den vorherrschenden Kalkschichten zu erkennen. Die Mudstoneschichten sind vorwiegend 10cm mächtig, aus welchen eine Kalkschicht mit 47cm (*BSA* 133) heraussticht. Ebenfalls hat sie nicht die dunkelgraue Farbe wie die restlichen Lagen, sondern ist hellgrau und zeigt Spuren von Deformation.

Die letzte Einheit besteht wieder aus verschiedenen mächtigen Kalkschichten, welche bei *BSA* 135 beginnen und vermutlich noch über *BSA* 148 hinausgehen. Auch hier wurde das Gestein im Gelände als Mudstone beschrieben. Die Farbe ist nun durchgehend Dunkelgrau bis Schwarz. Bis auf *BSA* 138, *BSA* 139, *BSA* 142, *BSA* 143 und *BSA* 144 sind die Schichten dieser Einheit in mehrere Lagen untergliedert, welche im Profil nicht grafisch darstellbar sind. Diese Lagen sind meist zwischen 1cm und 5cm dick, weshalb sie in Abbildung 5 zusammengefasst sind. Bei *BSA* 138 und *BSA* 144 ist zum ersten Mal keine Reaktion mit *HCl* festzustellen, welche diese als Dolomitschichten ausweisen.

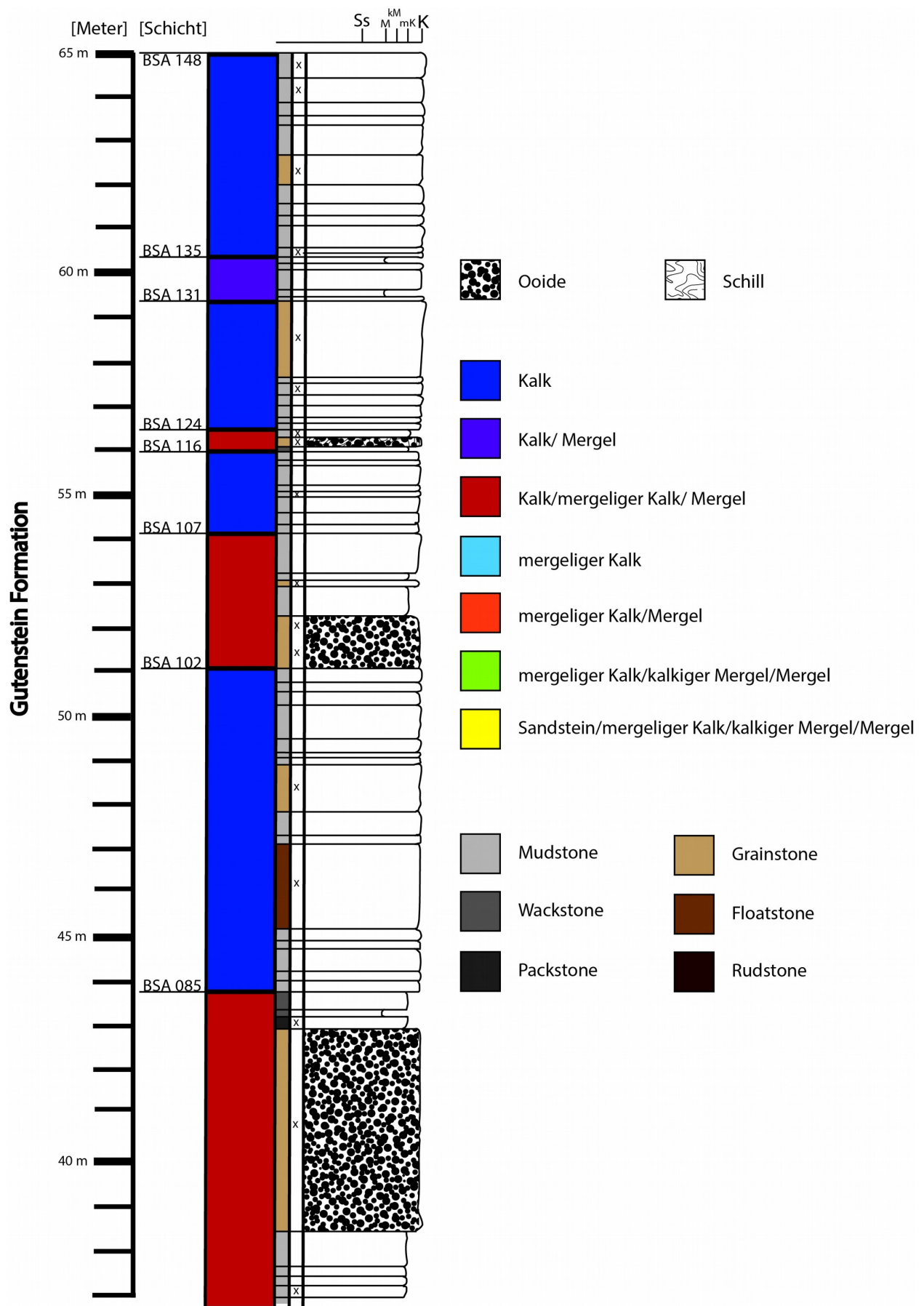


Abbildung 5: Top Profil

Die vorkommenden Schichten sind Kalk [K], mergeliger Kalk [mK], kalkiger Mergel [kM], Mergel [M] und Sandstein [Ss].

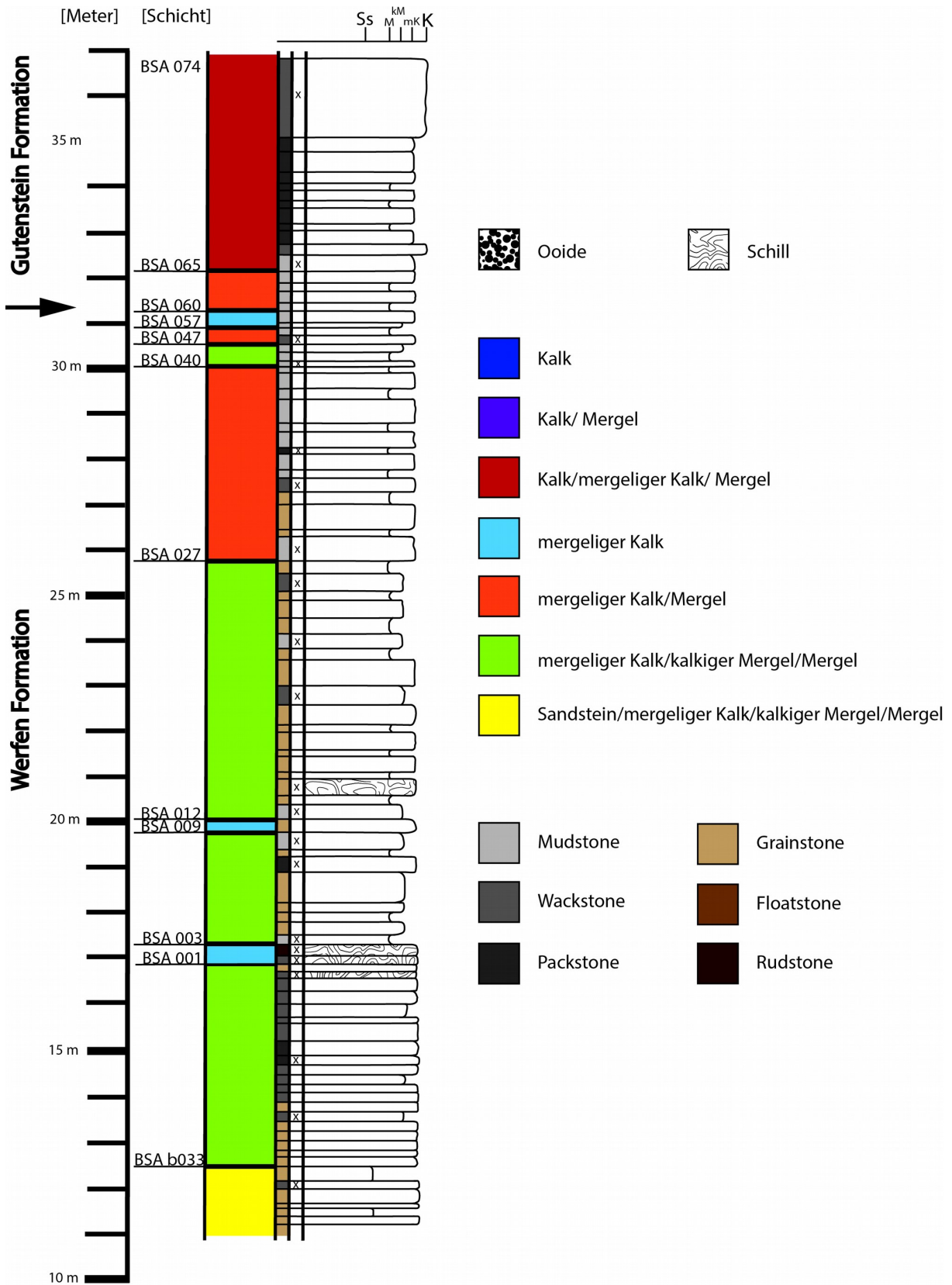


Abbildung 6: Middle Profil

Die vorkommenden Schichten sind Kalk [K], mergeliger Kalk [mK], kalkiger Mergel [kM], Mergel [M] und Sandstein [Ss].

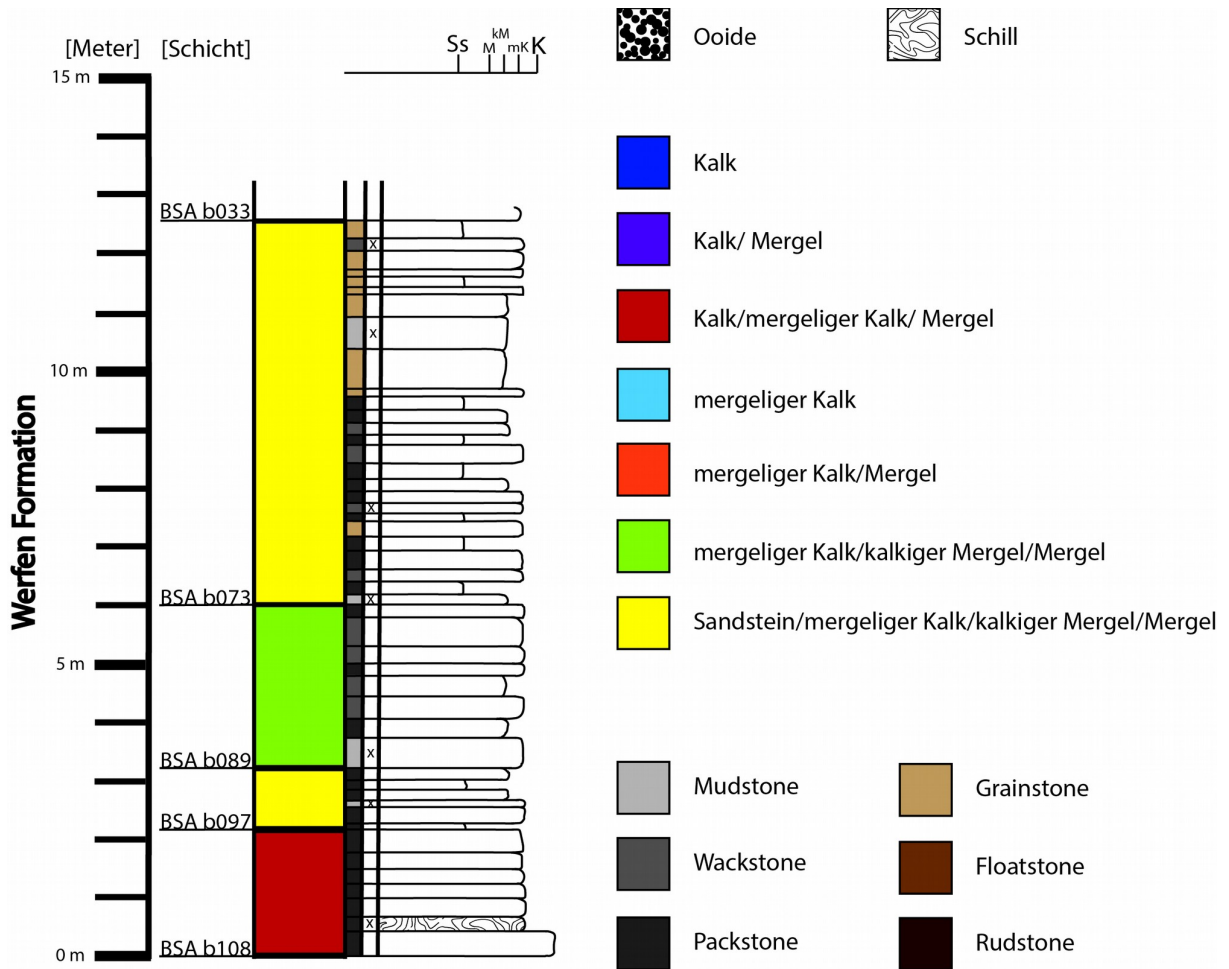


Abbildung 7: Bottom Profil

Die vorkommenden Schichten sind Kalk [K], mergeliger Kalk [mK], kalkiger Mergel [kM], Mergel [M] und Sandstein [Ss].

5 Dünnschliff Beschreibung

Die Dünnschliffe wurden, in Abständen von $2m$, entlang des Profils entnommen. Bei manchen Schichten war eine Probennahme nicht möglich, da das Gestein zu sehr zerlegt war. Es wurden 43 Schichten erfolgreich beprobt und Schliffe, wie im Kapitel *Methoden* beschrieben, erstellt.

Die Schliffe werden nun vom Liegenden ins Hangende einzeln durchbesprochen.

Auffallend ist dabei die Änderung in der Klassifikation zwischen Gelände und Dünnschliff, welche teilweise sehr deutlich ist. Die wird vor allem in den hangenden Schichten, durch den hohen Zerlegungsgrad und Verwitterungsspuren am Aufschluss ausgelöst.

BSAb 107: Es sind Fossilien von Bivalven und Gastropoden deutlich im Schliff zu erkennen. Diese liegen sehr dicht aneinander sodass sie als Schillage aufgefasst werden. Bei den hellgrauen Stellen handelt es sich um Mikrospatit, welcher rekristallisierte Hohlräume darstellt. Vereinzelt sind Lithoklasten zu erkennen (unbeschichtete Komponenten). Klassifiziert wird das Material als Packstone von grauer Farbe.

BSAb 094: Hier sind keine Fossilien ersichtlich, jedoch findet man Fecapellets. Das graue leicht ockerne Gestein wird als Mudstone klassifiziert. Deutlich zu erkennen sind die Stressindikatoren.

BSAb 089: Auch hier ist kein Fossil zu finden. Der ockerne Mudstone ist durch den ganzen Schliff sehr homogen. Er zeigt eine leichte Schichtung und enthält unerkennbare Bioklasten.

BSAb 073: Der fossilienarme Schliff zeigt eine dezente Schichtung. Der geschichtete Ton ist ein Zeichen einer Paläoströmung. Er wird ebenfalls als Mudstone von ockerner Farbe beschrieben, welcher Bioklasten enthält.

BSAb 056: Im dunklen Gestein der Schicht sind deutlich Reste von über $2mm$ großen Gastropoden, sowie Bivalven zu erkennen. Ostrakodenschalen sind fraglich. Der Schliff wird als Rudstone beschrieben.

BSAb 041: Sehr ähnlich dem Mudstone des Schliffes *BSAb 089* ist der hier vorliegende Schliff durchgehend homogen aufgebaut. Er zeigt eine leichte Schichtung und enthält Bioklasten.

BSAb 036: Der Wack- bis Packstone dieser Schicht ist aus Fossilien von Bi-

Untersuchung der Werfen - Gutenstein Transition der Nördlichen Kalkalpen bei Aflenz

valven, Crinoiden und Gastropoden aufgebaut. Die Schalen der Bivalven sind nur noch einklappig erhalten und teils zerbrochen. Das dunkle Objekt in der Mitte des Schliffes dürfte eine Gastropode darstellen, welche Mergel eingelagert hat.

BSAb 025: In den beiden Schliffen dieser Schicht findet man eine große Ansammlung von unter $1mm$ großen Ostrakoden, sowie Gastropoden. Das Gestein enthält verschiedene andere Klasten und wird als Wack- bis Packstone eingestuft.

BSAb 013: Diese Schicht führt viele Gastropodenschalen, jedoch nicht dicht an dicht. Der Floatstone bis Packstone enthält sonst keine weiteren Fossilien.

BSAb 004: Im Schliff sind unten kleine Ostrakodenreste und eine etwas größere Bivalvenklappe zu erkennen. Hier kann man von einem Wackstone sprechen. Darüber folgt eine Schilllage, welche ein Sturmevent darstellt. Hier, im Rudstone, sind Bivalven und Ostrakodenreste dicht aneinander gedrängt. Zwischen den beiden Lagen erkennt man einen Errosionshorizont.

BSA 001: In diesem Schliff ist unten eine Wackstonelage zu sehen, welche sich bei Ruhigwasser abgelagert haben dürfte und einzelne Ostrakoden- sowie einige Bivalvenfossilien enthält. Darüber folgt eine Schilllage, welche deutliche Aufarbeitung zeigt und ebenfalls Bivalven und Ostrakoden enthält. Dabei handelt es sich um Rudstone.

BSA 002: Die Probe stellt eine reine Schilllage dar. Der Rudstone besteht aus aufgearbeiteten Fossilien, welche kaum identifizierbar sind. Man findet wahrscheinlich Bivalven, Ostrakoden und Gastropoden.

BSA 003: Dieser Schliff zeigt einen fossilieeren Mergel. Die dentritischen schwarzen Formen im Bild dürften Manganoxide sein. Die dunkleren Linien im Mudstone lassen auf eine Paläoströmung schließen.

BSA 006: Das Material der beiden Schliffe, ist leicht mergelig und es sind Flecken zu sehen, welche von Styolithen umgrenzt werden. Die schwarzen Körnchen sind Fecapellets und füllen die Flecken im Schliff aus. Daraus lässt sich auf ein Bioturbationsgefüge schließen. Es können Crinoideneinkristalle gefunden im Packstone gefunden werden..

BSA 008: Erneut tritt ein Gestein ohne Fossilinhalt auf. Der ockerne Mudstone enthält schwarze Komponenten.

Untersuchung der Werfen - Gutenstein Transition der Nördlichen Kalkalpen
bei Aflenz

BSA 012: Auch hier ist kein Fossilinhalt vorhanden. Der Mudstone lässt anhand seiner Fleckenstruktur, auf ein Bioturbationsgefüge schließen.

BSA 014: Im unteren Bereich ist ein fossilienarmer Mudstone zu erkennen. Dieser wurde von einem Sturmereignis aufgearbeitet. Im darüberliegenden Grainstone sind sowohl Ostrakoden, als auch Reste von Crinoiden zu erkennen (Identifizierbar anhand der runden Form mit einem Loch in der Mitte).

BSA 018: Das von Styolithen durchzogene Material ist fossilarm. Es sind einzelne Fecapelllets anzutreffen. Das Fleckenmuster im Gestein deutet erneut auf ein Bioturbationsgefüge hin. Dabei dürfte es sich um Mudstone bis Wackstone handeln.

BSA 020: Im ocker bis hellgrauen Mudstone dieser Schicht sind keine Fossilien gefunden worden. Er erscheint recht homogen und zeigt einzelne gräuliche Körnchen, bei denen es sich um Fecapelllets handeln könnte.

BSA 026: Der dunkle Wackstone ist reich an Bivalvenresten. Ebenfalls auffällig sind die schwarzen Oxide, beziehungsweise Sulfide im Schliff.

BSA 027: Der ockerne Mudstone dieser Schicht enthält Bioturbationsspuren. Diese werden von Styolithen begrenzt. Fossilien wurden keine gefunden.

BSA 031: In diesem Schliff ist ein bereits lithifizierter Mudstone (unten im Bild) kurz transportiert worden. Dies ergibt sich aus der nicht vorhandenen Rundung des Lithoklastes. Der Hauptbestandteil des Schliffes besteht aus Wackstone, welcher den vorhin erwähnten Mudstone, sowie verschiedene 0,5mm große Bioklasten und ein Bioturbationsgefüge enthält.

BSA 035: Das körnige Material dieses Schliffes zeigt keine Fossilien. Es dürfte sich um mergeliges Material handeln, welches Styolithen sowie Lithoklasten enthält. Zu klassifizieren ist es als Packstone.

BSA 040: Diese Schicht besteht aus hellgrauem Mudstone. Die durch mechanische Beanspruchung entstandenen Trennfugen sind mit Mergel aufgefüllt. Fossilien sind keine zu finden.

BSA 051: Im mergeligen Kalk dieser Schicht findet man teilweise stark zerlegte Gastropoden. Der Wackstone ist durchzogen von einer Lage aus Pellets, welche ein Bioturbationsgefüge andeuten. Generell ist das Gestein stark zerlegt und dadurch, bezüglich der Identifikation, beeinträchtigt.

BSA 066: Auch hier ist das Material stark zerlegt. Der Mudstone zeigt keine

Untersuchung der Werfen - Gutenstein Transition der Nördlichen Kalkalpen
bei Aflenz

Fossilien, dafür aber Mergel in seinen Trennfugen. Auch zu sehen sind weiße Kieselknollen, welche sekundär entstanden sind.

BSA 073: Im dunklen Wackstone dieser Schicht ist eine leichte Zerlegung erkennbar. Des Weiteren sind einzelne Nadeln sichtbar, welche als Spiculae von Schwämmen angesprochen werden. Teilweise sind auch Reste von Gastropoden vorhanden. Untersuchungen von Mostler (1989 und 1990) und von Krainer & Mostler (1997) zeigten, dass es sich bei den Schwämmen um Hexactinellida *non – lithistid* Demospongiae handeln dürfte.

BSA 076: Der Mudstone dieser Schicht führt keine Fossilien. Er enthält hingegen vereinzelt Körner und ist mechanisch beansprucht worden. Im grauen Gestein ist auch Mergel zu erkennen.

BSA 079: Das stark zerlegte Gestein dieser Schicht ist vorwiegend aus Körnern aufgebaut. Die meisten Körner dürften Fecapelllets sein, jedoch sind auch deutlich einige Ooide anzutreffen. Der Grainstone enthält einige wenige Bruchstücke von Bivalven und Ostrakoden.

BSA 080: Bis auf undeutlich erkennbare Bivalven- oder Ostrakodenreste, besteht der Schliff vorwiegend aus Kalzitsphären. Das Gefüge des Pack- bis Rudstones könnte bioturbirt sein.

BSA 090: Das Gestein dieser Schicht kann, aufgrund des Zerlegungsgrades, als Brekzie bezeichnet werden. Es ist kein Mergel vorzufinden. Teils sind Pellets anzutreffen. Der Fossilinhalt ist aufgrund der mechanischen Beanspruchung kaum zu bestimmen. Ein Bioturbationsgefüge kann dennoch im Floatstone festgestellt werden.

BSA 093: Diese Schicht besteht fast nur aus winzigen Pellets. Der Grainstone enthält des Weiteren Gastropodenreste. Die Pellets deuten auf eine hohe Organismenaktivität hin.

BSA 102: Diese beiden Schiffe zeigen wunderschöne Ooide. Fossilien sind keine enthalten. Der Grainstone stellt einen Sturmhorizont dar.

BSA 104: Das Gestein ist zerklüftet und von Calcit und Mergel durchzogen. Fossilinhalt wurde keiner festgestellt. Das Material ist aus vielen Körnern aufgebaut und wird als Grainstone bezeichnet.

BSA 110: Der schwarze Mudstone ist stark zerklüftet. Des Weiteren ist kein Fossil erkannt worden. Der Schliff ist wahrscheinlich aus Tonmineralen auf-

gebaut.

BSA 116: Die Schliffe dieser Schicht zeigen ooidale Pelloide. Bei *BSA116I* handelt es sich um Ooid-Schill. Es ist eine stark aufgearbeitete Lage. *BSA116II* hingegen ist homogen und führt nur Ooide. Im vorliegenden Grainstone wurden erneut keine Fossilien gefunden.

BSA 120: Der Mudstone lässt Flecken erkennen. Diese sind von Stylolithen begrenzt. Fossilien wurden keine gefunden. Es dürfte jedoch Bioturbation gegeben haben.

BSA 128: Das dunkle, stark zerlegte Material ist ein Mudstone, welcher vereinzelt Ostrakodenreste führt. Die hellgrauen Bereiche sind Bioturbationsgefüge, während die schwarzen Körner Pellets darstellen.

BSA 130: Der Grainstone dieser Schicht enthält Echinodermenreste. Er ist jedoch vorwiegend von dunklen Körnern in einer grauen Matrix aufgebaut, welche vermutlich Fecapellets sind.

BSA 135: Das geschliffene Gestein wird als Mudstone klassifiziert. Trotz Fehlen von Fossilien, erkennt man Wühlspuren/Bioturbation, welche auf eine vorhandene Infauna schließen lässt.

BSA 142: Dieser Schliff zeigt eine *vergammelte* Schilllage, welche sparitisch verwittert ist. Um welche Fossilien es sich genau handeln dürfte, ist schwer festzustellen. Das Gestein wird als Grainstone klassifiziert.

BSA 147: Das graue Gestein zeigt eine hohe mechanische Beanspruchung. Es sind vereinzelt Bivalvenreste zu erkennen, jedoch sind sie selbst zerlegt. Dabei handelt es sich um einen Mudstone bis Wackstone. Dieser zeigt eine deutliche Bioturbation.

BSA 148: Die im Schliff erkennbaren Flecken sind von Stylolithen begrenzt. Dabei handelt es sich um ein Bioturbationsgefüge. Man kann in der Mitte der linken Hälfte ein Gastropodengehäuse erkennen. Der Mudstone ist aus hellen und dunklen Lagen aufgebaut.

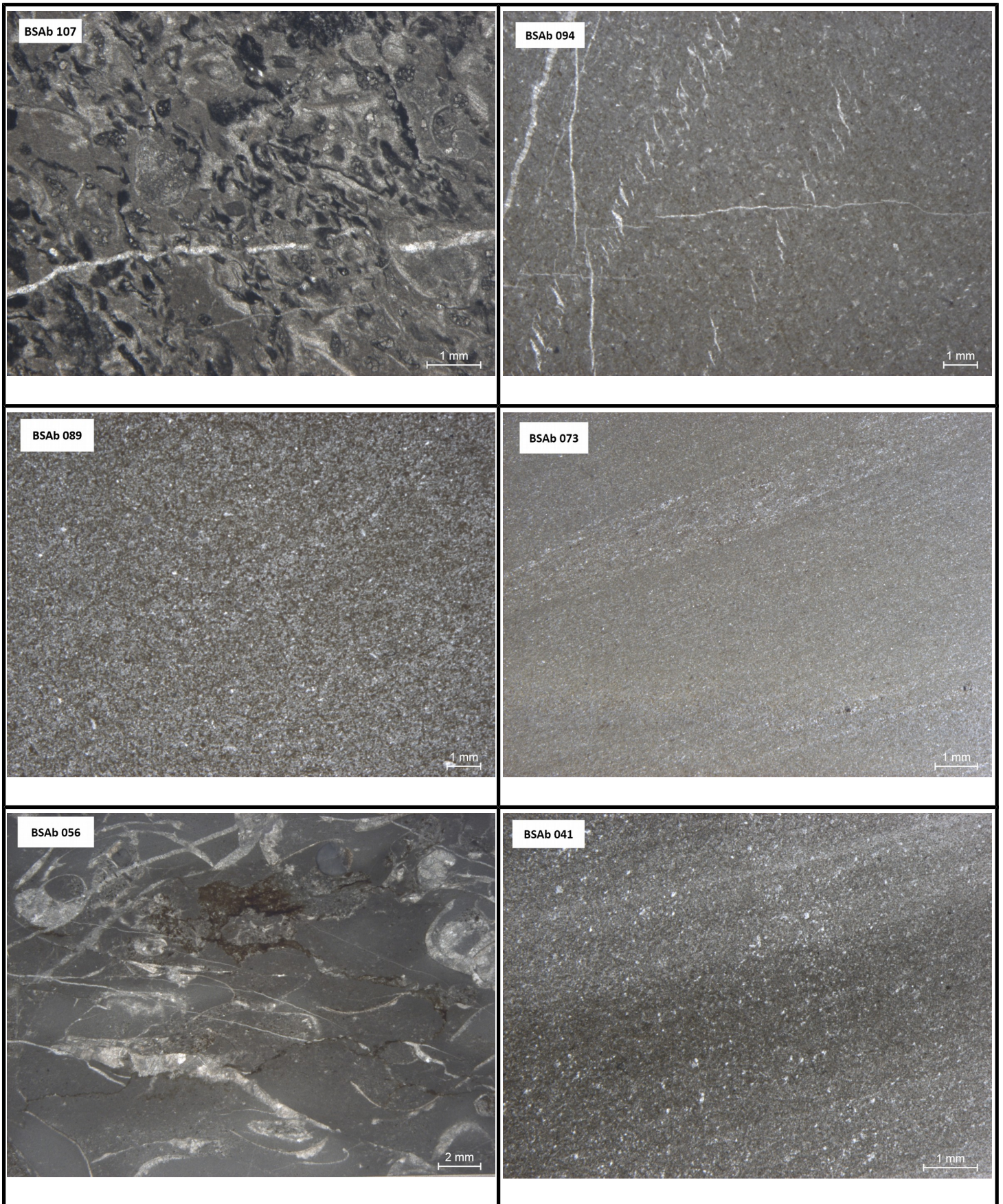


Abbildung 8: 1) BSAb 107: Packstone mit Bivalven und Gastropoden. 2) BSAb 094: Mudstone mit Fecapelllets. 3) BSAb 089: Mudstone mit leicher Schichtung sowie Bioklasten. 4) BSAb 073: Mudstone mit leichter Schichtung sowie Bioklasten. 5) BSAb 056: Rudstone mit Bivalven und Gastropoden. 6) BSAb 041: Mudstone mit leichter Schichtung und Bioklasten.

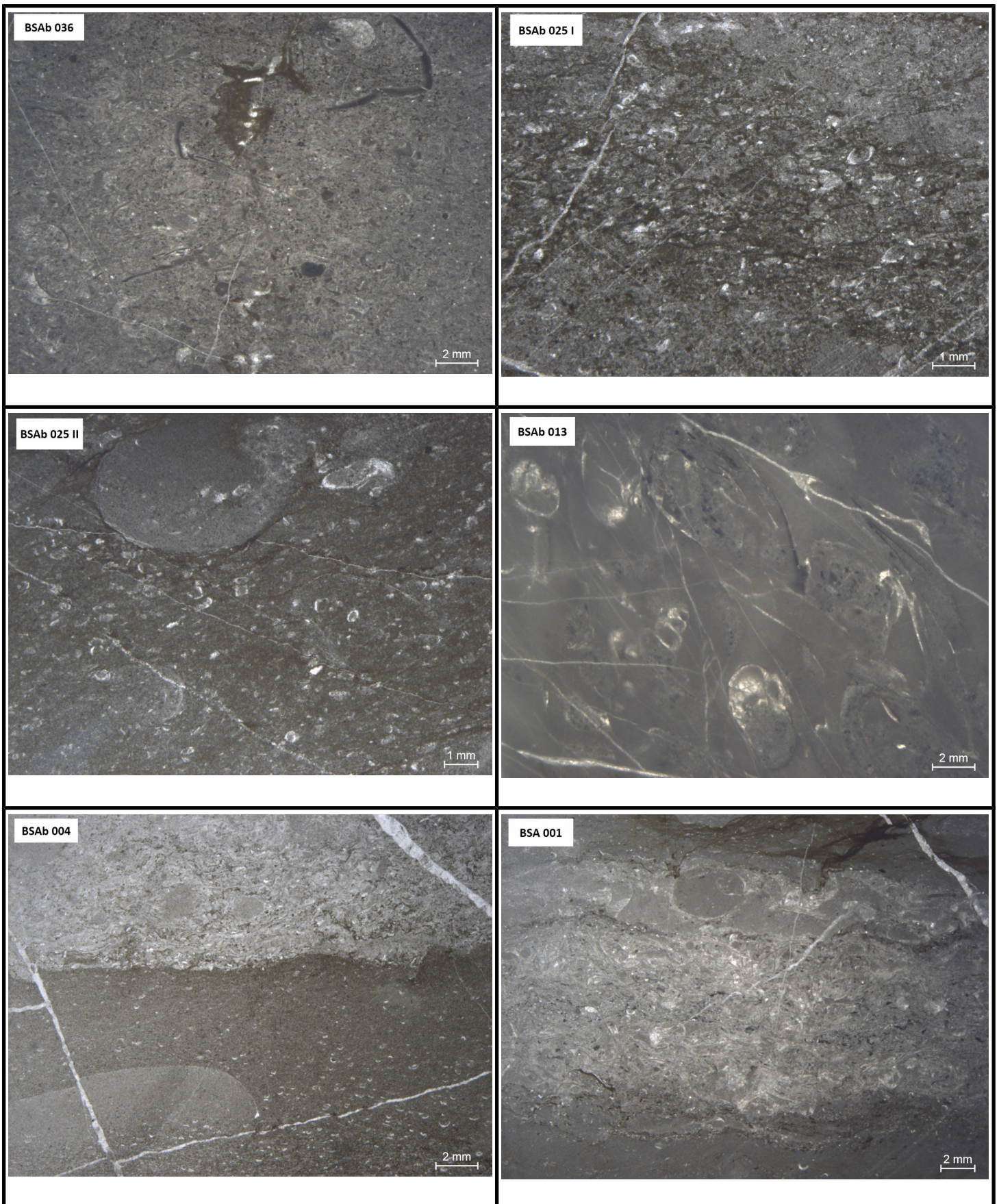


Abbildung 9: 1) BSAb 036: Wack- Packstone mit zerbrochenen Bivalvenschalen, sowie Crinoiden und Gastropodenresten. 2) BSAb 025 I+ II: Ostrakoden Wack- bis Packstone. Enthält auch Gastropoden und andere Klasten. 3) BSAb 013: Floatstone mit Gastropodenresten. 4) BSAb 004: Wackstone mit Ostrakoden und einer großen Bivalve, welcher von einer Schillage gefolgt wird. 5) BSA 001: Schillage liegt über Wackstonelage. Fossilien von Ostrakoden und Bivalven ersichtlich.

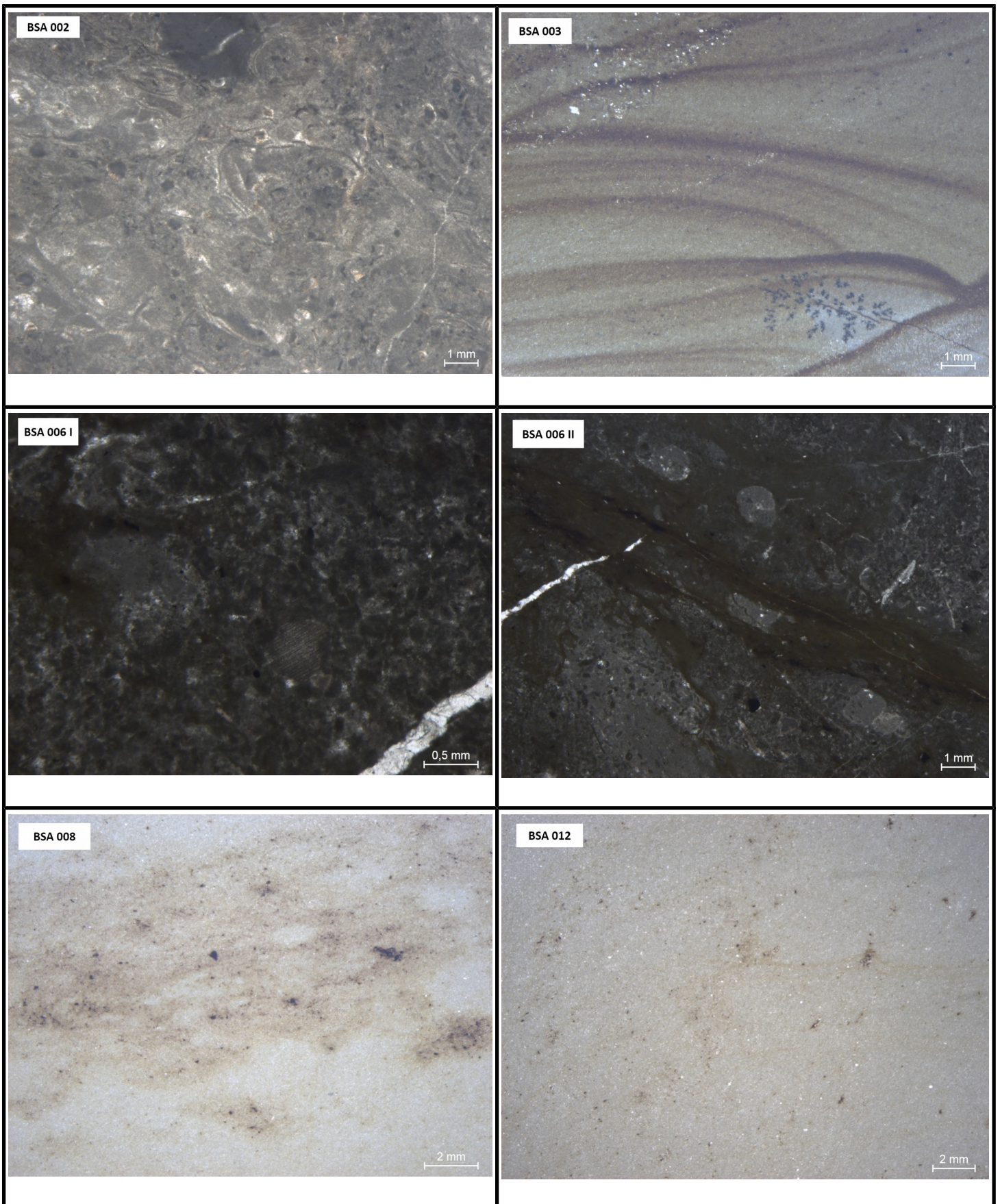


Abbildung 10: 1) BSA 002: Schillage mit Bivalven, Gastropoden und Ostrakoden. 2) BSA 003: Mergel Mudstone. Schichtung zeigt Paläostömung an. 3) BSA 006 I+II: Packstone bestehend aus schwarzen Fecapelllets, sowie Crinoidenreste. 4) BSA 008: Mudstone mit wenigen schwarzen Komponenten. 5) BSA 012: Bioturbationsgefüge in Mudstone.

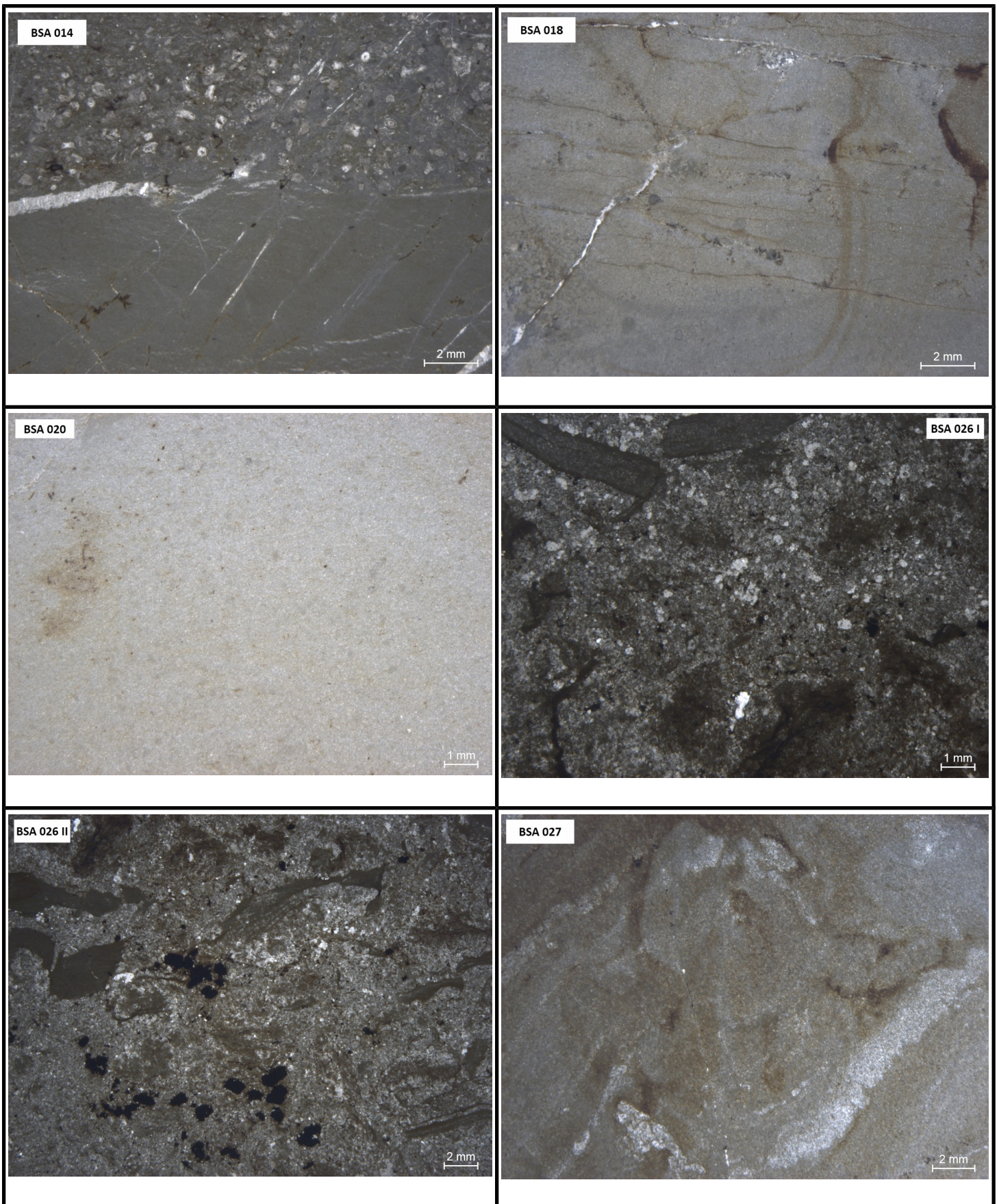


Abbildung 11: 1) BSA 014: Fossillereer Mudstone, welcher von einem Grainstone überlagert wird. 2) BSA 018: Stylolithen und Fecapellets deuten ein Bioturbationsgefüge im Mudstone an. 3) BSA 020: Mudstone mit einzelnen Fecapellets. 4) BSA 026 I+II: Bivalven-Wackstone. 5) BSA 027: Mudstone mit Bioturbationsspuren.

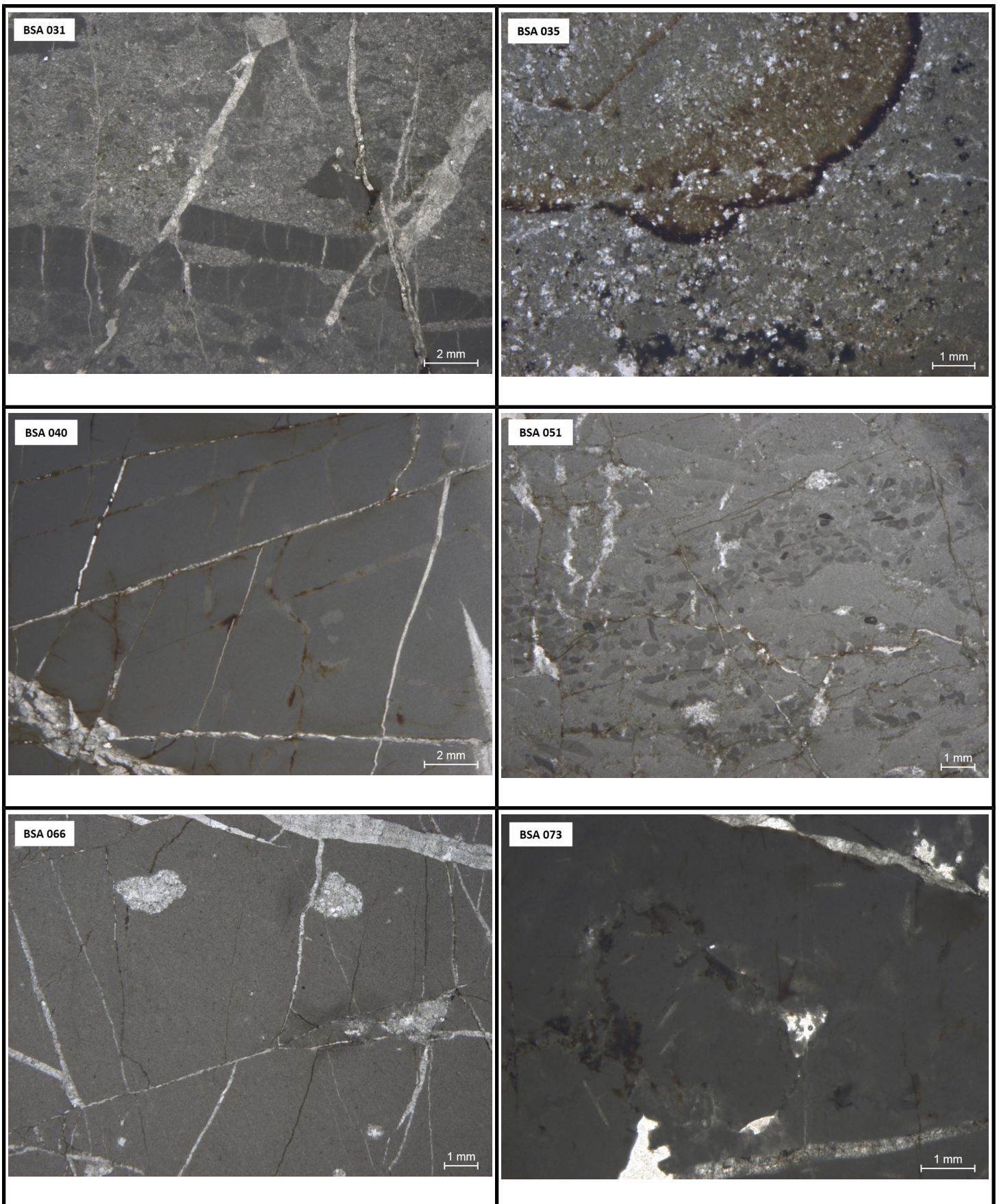


Abbildung 12: 1) BSA 031: Lithifizierter Mudstone, welcher erneut transportiert wurde. Umgeben ist dieser von Wackstone. 2) BSA 035: Fossiliferer, mergeliger Packstone mit Lithoklasten. 3) BSA 040: Mudstone mit Trennfugen. 4) BSA 051: Stark zerlegte Gastropoden und Pellets in Wackstone. 5) BSA 066: Mudstone mit Trennfugen und weißen Kieselknollen. 6) BSA 073: Wackstone mit Spikulae.

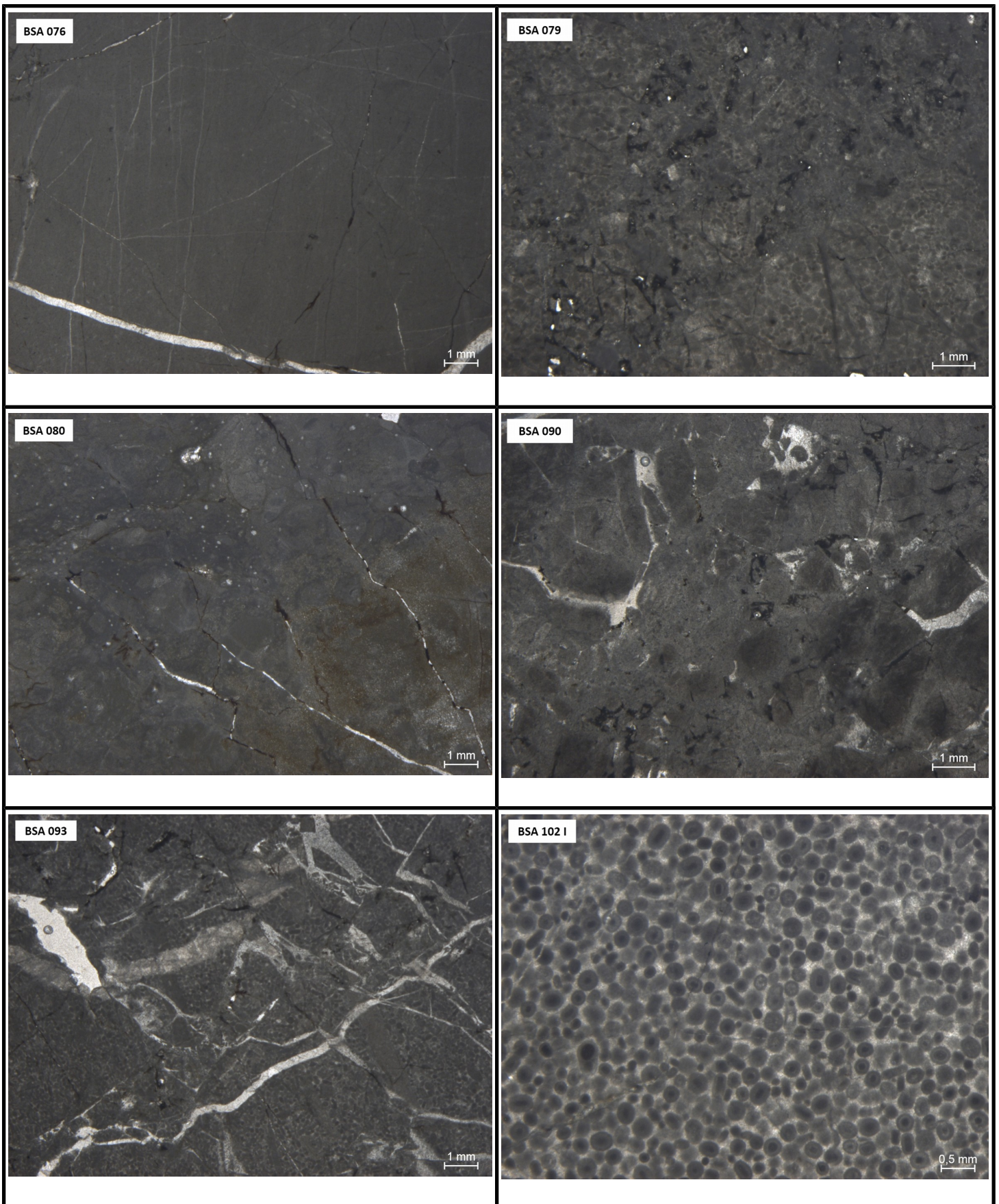


Abbildung 13: 1) BSA 076: Mudstone mit Mergel und mechanischer Beanspruchung. 2) BSA 079: Rudstone mit vorwiegend Pellets, jedoch auch Ooiden. 3) BSA 080: Kalzitsphären mit stark bioturbirten Bivalven- und Ostrakodenreste. 4) BSA 090: Kalkbrekzie. 5) BSA 093: Grainstone bestehend aus Pellets und Gastropodenreste. 6) BSA 102 I: Grainstone bestehend aus vorwiegend Ooiden.

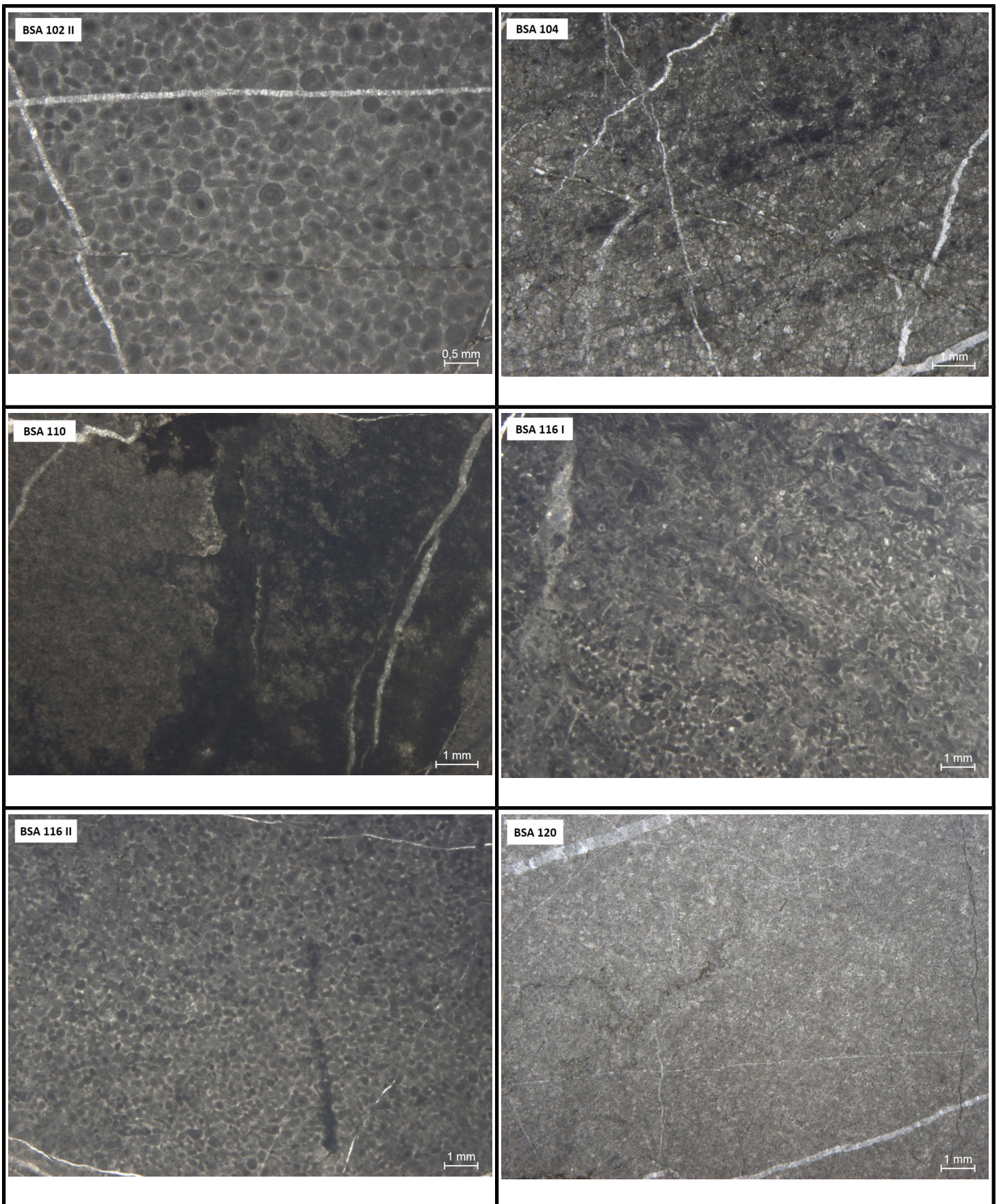


Abbildung 14: 1) BSA 102 II: Wie BSA 102 I. 2) BSA 104: Grainstone aus vielen Körnern aufgebaut und zerklüftet. 3) BSA 110: Mudstone ohne Fossilien. Vermutlich aus Tonmineralen aufgebaut. 4) BSA 116 I+II: Ooidale Pelloide. Grainstone ohne Fossilien. 5) BSA 120: Mudstone mit Bioturbationsgefüge. Stylolithen sind zu erkennen.

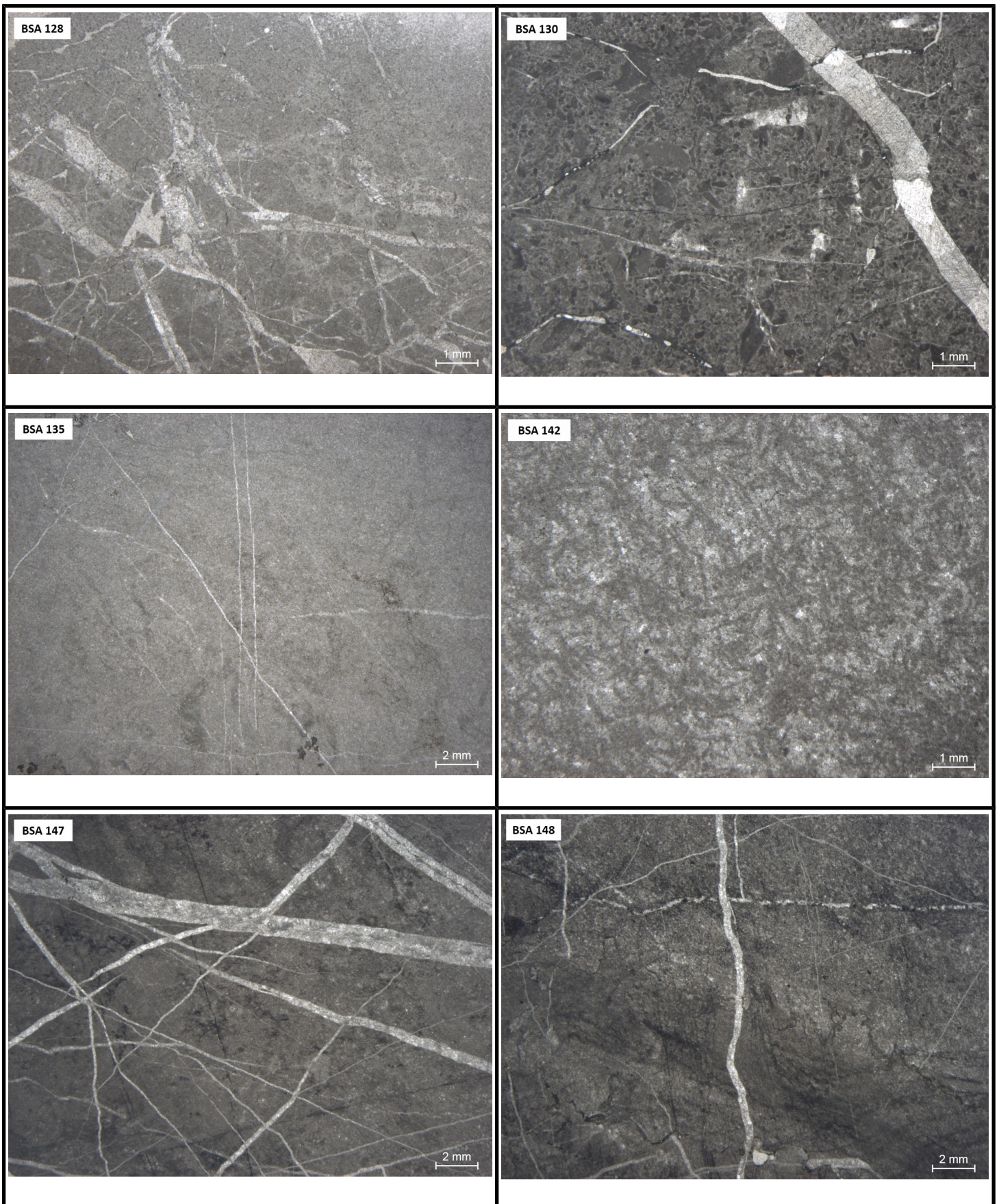


Abbildung 15: 1) BSA 128: Mudstone mit Ostrakoden und Pellets. 2) BSA 130: Grainstone mit Echinodermenreste. Besteht aus Fecapellets. 3) BSA 135: Mudstone mit Wühlspuren. 4) BSA 142: Vergammelte Schillage. 5) BSA 147: Mudstone bis Wackstone mit Bioturbation. 6) BSA 148: Mudstone mit Stylolithen. Es ist ein deutliches Bioturbationsgefüge erkennbar.

6 Schlussfolgerung

6.1 Interpretation

Anhand der im Feld aufgenommenen Daten und der grafischen Darstellung des Profils, erkennt man einzelne Trends. Im Liegenden findet man viele geringmächtige Schichten vor, welche alle durch Mergel voneinander getrennt sind. Erst ins Hangende werden die Schichten teilweise mächtiger. Ebenfalls ist ein Trend von der sandig-mergeligen Fazies, in die mergelig-kalkige und schlussendlich in die kalkige Fazies zu erkennen. Des Weiteren findet man im Liegenden des Profils vor allem Wack- und Packstones an, welche ab *BSAb* 042 in vorwiegend Packstones und Grainstones übergehen. Über *BSA* 031 trifft man vermehrt auf Mudstone, welcher in manchen Abschnitten von Wack- bis Packstone unterbrochen wird. Der allgegenwärtige Mergel der liegenden Schichten stellt die Background-Sedimentation dar (Mostler und Roßner, 1984). Diese ist sogar in den dunklgrauen Karbonaten der Gutensteiner Kalke zu erkennen. Quarz lässt sich häufig in den liegenden Gesteinen ausmachen. Diese Klastika sind recht feinkörnig, was auf eine relativ große Entfernung zum Abtragungsgebiet vermuten lässt (Mostler und Roßner, 1984). Die in den Dünnschliffen gefundenen Schille könnten durch Gezeiten oder durch Stürme entstanden sein. Mostler und Roßner (1984) beschreiben, dass keine Anzeichen für Gezeitenwirkung in den oberen Werfener Schichten gefunden wurde. Somit dürfte es sich um eine Sturmsedimentation handeln. Dies würde die unregelmäßigen Schille und die scharfen Grenzen in manchen Dünnschliffen erklären. Diese Sturmschichten bestätigen wiederum den Flachwassercharakter des Werfener Ablagerungsraumes (Mostler und Roßner, 1984).

Die anzutreffende Fauna in den Schliffen ist relativ gering variabel. Es kommen vor allem Gastropoden, Ostrakoden und Bivalven vor. Gelegentlich sind auch einzelne Crinoidenbruchstücke und andere Echinodermenreste anzutreffen. Conodonten hingegen sind im Vergleich zu anderen Studien keine gefunden worden, was jedoch anhand von vier Proben nicht aussagekräftig ist.

In den Dünnschliffen sieht man im Liegenden vorwiegend fossilere bis fossilarme Schichten. In den wenigen Schichten mit Fossilien findet man vorwiegend eine einklappige Erhaltung, sowie Schille. Während die Schille eine Periode mit vielen Stürmen darstellen dürfte, sind die einklappig erhaltenen Fossilien und die geschichteten Sedimente in den Schliffen eher durch

Untersuchung der Werfen - Gutenstein Transition der Nördlichen Kalkalpen bei Aflenz

konstanten Strömungen entstanden. Im Schliff *BSA* 003 sieht man deutlich, wie das Sediment durch einen Paläostrom abgelagert wurde. Es wechseln sich oft Sturmsedimentation und Ruhigwassersedimentation in kurzen Abständen miteinander ab. Deutlich zu erkennen ist, dass in den liegenden Schichten viele Gastropodenreste auftreten. Ostrakoden sind die zweithäufigsten Fossilien. Bivalven findet man nur vereinzelt oder in großer Zahl in Schillen. Mergel ist in vielen Schliffen vorhanden und unterstreicht die These der ständigen Hintergrundsedimentation.

Die erste Bioturbationsanzeichen sind im Schliff *BSA* 006 zu finden. Die kleinen schwarzen Körnchen wurden als Fecapellets interpretiert, welche von grabenden Organismen ausgeschieden wurden. Ebenso findet man hier vereinzelt Crinoidenbruchstücke. Bis *BSA* 148 findet man immer wieder Bioturbationsgefüge, welche sich mit Schichten ohne Fossilinhalt oder hohem Mergelgehalt abwechseln.

Ab *BSA* 079 treten erstmals Ooide im dunklegrauen Gestein auf. Die Fossilien sind stark zerlegt und in vielen Schichten gar nicht vorhanden. Bis *BSA* 120 bleiben die Ooide in den Schliffen ersichtlich. Danach kehrt wieder eine Phase mit erhöhter Bioturbation ein und es können wieder mehr Fossilien gefunden werden.

Die Schliffe lassen darauf schließen, dass anfangs ein seichter Ablagerungsraum bestand (Schichten unter *BSA* 031, jedoch ist im untersten Profil eine Tiefencharakterisierung schwierig). Stürme arbeiten oft das Material auf und hinterlassen die vorgefundenen Schille. Nebenbei gibt es aber auch Ruhigwassersituationen, in welchen sich kontinuierlich Mergel ablagert und Bioturbation stattfindet. Ebenso kann man in mehreren Schliffen Ablagerungen von Paläoströmungen finden. Zwischen *BSA* 031 und *BSA* 076 ist eine relativ ruhige Phase in der kaum Fossilien gefunden werden. Es könnte sich auch um eine Veränderung der Umweltbedingungen handeln, welche erneut schwieriger werden. Jedoch wird das seichte Milieu der unteren Schichten nun stetig tiefer bis zu hangenden Ende des Profils. Ab *BSA* 079 nimmt die Wellenaktivität zu. Viele Schliffe zeigen einen hohen Zerlegungsgrad von Fossilien an und es treten erstmals im bearbeiteten Profil Ooide auf. Da es wie bereits weiter oben beschrieben, keine oder kaum Gezeitenwirkung gegeben haben soll (Mostler und Roßner, 1984), dürften die Ooide durch Strömungsenergie entstanden sein. Dies würde sich auch mit den in den Schliffen erkennbaren Paläoströmungen decken. Nach den Schliffen mit den Ooiden kommt es wieder zu einer Ruhigwasserfazies, in welcher Bioturbation vorherrscht und erneut Fossilien und Pellets gefunden werden können.

Untersuchung der Werfen - Gutenstein Transition der Nördlichen Kalkalpen bei Aflenz

Nach Mostler (1977) ist das Klima aufgrund der Fauna tropisch bis subtropisch. Evaporite in Südtirol (Niedermeyer 1980) lassen ein warmes Klima vermuten, das jedoch wegen des Antransports klastisch-terrigenen Materials eher semiarid als arid gewesen sein dürfte (Assereto et al. 1973). In dieser Gegend überleben nach dem großen Perm-Trias Masseaussterbeereignis, nur einige wenige, spezialisierte Arten. Diese treten jedoch in großer Zahl auf. Im subtidalen Ablagerungsraum, mit ungehindertem Wasseraustausch mit dem offenen Meer (Mostler 1984), ist mit Gastropoden des Types *Loxonema*(*Polygyrina*) *gracilior* zu rechnen. Dabei treten stark trochospirale Formen auf, wie in den Schliffbildern gut zu erkennen ist, deren Lebensraum ein schlammiger Weichboden gewesen sein dürfte. Das generelle Fehlen von größeren Individuen in der Unteren Trias scheint ein globales Phänomen zu sein (Fraiser und Bottjer 2004). Die anzutreffenden Ostrakoden wurden von Kozur und Mostler (1983) zur Gattung *Judahella* gestellt, welche ausgesprochene Flachwasserbewohner sind.

Die Gutenstein Formation ist deutlich mehr kalkig, wie die Werfen Formation. Im aufgenommenen Profil kann man deutlich erkennen, wie der mergelige Anteil langsam abnimmt und schlussendlich in eine sehr kalkreiche Fazies übergeht. Dies ist damit zu erklären, dass die vor allem in der Steinalm Formation gefundenen Kalkalgen stark zunehmen und die Gutensteiner Schichten entstehen lassen. Ein Faktor ist, dass sich der Ablagerungsraum weiter vom Festland wegentwickelt und somit weniger Eintrag von dessen Verwitterungsprodukten bekommt. Eine weitere Theorie ist, dass sich durch geringere Verwitterung im Hinterland bessere Umweltbedingungen für die Kalkalgen einstellten und diese sich leichter ausbreiten können.

Die Grenze konnte auch in dieser Arbeit nicht exakt festgelegt werden. In Abbildung 6 wird jedoch deutlich, dass die Grenze vermutlich in der Nähe von BSA 060 liegen muss. Begründet wird dies dadurch, dass hier die mergeligen Einheiten deutlich seltener werden und reine Kalke anzutreffen sind.

Zusammengefasst handelt es sich um ein Flachwasserenvironment, mit aperiodischen starken Wasserbewegungen vor, allem in den liegenden Schichten. Dies ist durch das unregelmäßige Auftreten von Schillen gekennzeichnet. Mergelablagerungen zeigen die Ruheperioden an, in welchen eine Paläoströmung die Landschaft und das Leben prägte. Das Ablagerungsgebiet wird jedoch mit der Zeit immer tiefer und es tauchen Ooide auf, welche durch kontinuierliche

Untersuchung der Werfen - Gutenstein Transition der Nördlichen Kalkalpen bei Aflenz

Bewegungen entstehen. Das Klima, wie oben bereits erwähnt, dürfte tropisch bis subtropisch gewesen sein. Dies zeigt auch die Bildung von Ooiden, welche vorwiegend im tropischen Raum, zwischen 30° nördlicher und südlicher Breite, entstehen (Opdyke und Wilkinson, 1990). Wie Li et al. (2014) berichtet kommen Ooide in den Schichten nach dem Perm-Trias Masseaussterbeereignis recht häufig vor und sind mit Flachwassersedimenten verbunden. Sie geben Auskunft über eine Karbonatübersättigung des warmen Wassers. Die Fossilien belegen des Weiteren das vorherrschen von Weichböden. Dabei ist zu beachten, dass keine Gezeitenwirkung, sondern Winde waren, welche den Boden aufarbeiteten. Ebenso kann davon ausgegangen werden, dass es sich um subtidale Verhältnisse handelt (Mostler 1984). In seiner Arbeit schreibt Mostler (1984) ebenfalls, dass wegen dem Fehlen von Resten landbewohnender Vertebraten, eine bedeutende Entfernung zur Küste vorliegt.

6.2 Vergleich zu Dolomiten

Wie Krainer (2009) und viele andere Studien zeigten, sind die Dolomiten (als auch die Karawanken) in 9 Members und Horizonte unterteilt. Diese Unterteilung entstand durch Transgression und Regression. Der Vergleich zu den Werfener Schichten der Dolomiten zeigt, dass die Nördlichen Kalkalpen im Unter- und Mittelskyth eine flachmarine, tonig-sandige Faziesentwicklung hatten. Hingegen die Dolomiten haben bereits im Unterskyth eine erste marine Flachwasserkalkbildung, welche mit nur geringen Teilen an Siliziklastika abgelagert wurden. Die Nördlichen Kalkalpen begannen erst im Oberskyth mit einer Karbonatsedimentation, welche in unmittelbarem Konnex mit der bedeutendsten Transgression zur skythischen Zeit steht. Diese führte in den Südalpen zur Bildung des Val-Badia-Members führte (erstmaliges Auftreten von Ammoniten), welches faziell in vielen Details den Werfener Kalken im Norden entspricht (Mostler 1984).

Die von Mostler (1984) beschriebenen Mikrofaziestypen des Oberskyth, stimmen mit jenen der Südalpen völlig überein. Es steht für ihn außer Frage, dass der Ablagerungsraum der Südalpen in der höheren Untertrias (Spathian) oft gleich beschaffen war wie der der Nördlichen Kalkalpen. Dadurch würden sich auch die einzelnen Faziesteilräume wechselweise aufeinander übertragen lassen.

Der große Unterschied zu den Dolomiten besteht jedoch darin, dass das Andraz-Ereignis in den Südalpen anhand von Evaporiten sichtbar ist, jedoch in den Nördlichen Kalkalpen nicht. Das in der mittleren und höheren Untertrias stattgefundene Regressionsereignis hat hier keine Spuren hinterlassen. Während es in den Dolomiten zur Hebung des flacheren Sedimentationsraumes gekommen ist, fand in den Nordalpen nur eine Verschiebung der Küstenlinie statt. Die Schwachen Hebungs- und Senkungsbewegungen der Südalpen kommen für großräumige Faziesänderungen durchaus in Frage. (Mostler 1984, Mostler et al. 1982)

7 Danksagung

Ich möchte gleich zu Beginn meinem betreuenden Professor Dr. Sylvain Richoz, für seine umfangreiche Unterstützung danken. Ohne seine Hilfe und seinen Rat wäre es nicht möglich gewesen diese Arbeit in diesem Maß zu vollenden. Des Weiteren möchte ich meinen Eltern danken, deren Auto ich für meine Feldarbeit verwenden durfte. Schlussendlich geht noch ein großes Dankeschön an Frau Laura Iura, welche diese Arbeit korrekturgelesen hat.

8 Literaturnachweis

1. ASSERTO R., BOSSELINI A., FANTINI-SESTINI N. & SWEET W.C. 1973: The Permian-Triassic boundary in the Southern Alps (Italy). *Memoir Canad. Soc. Petroleum Geol.*, 2, 176-199.
2. DUNHAM R.J. 1962: Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *Mem. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, 1, 108-121.
3. EMBRY A.F. & KLOVAN J.E. 1972: Absolute Water Depth of Late Devonian Palaeoecological Zones. *Geol. Rundschau*, 61, 676-686.
4. FRAISER ML. & BOTTJER DJ. 2004: The non-actualistic Early Triassic gastropod fauna: a case study of the Lower Triassic Sinbad Limestone Member. *Palaios* 19, 259-275.
5. KOZUR H. & MOSTLER H. 1983: Biostratigrafische Gliederung der Untertrias. *Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck*.
6. KRAINER K. & MOSTLER H. 1997: Die Lias-Beckenentwicklung der Unkenener Synklinale (Nördliche Kalkalpen, Salzburg) unter besonderer Berücksichtigung der Scheibelberg Formation. *Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck* 22, 141.
7. LI F., YAN J., CHEN Z., OGG J.G., TIAN L., KORNGREEN D., LIUA K., MA Z. & WOODS A.D. 2014: Global oolite deposits across the Permian-Triassic boundary: A synthesis and implications for palaeoceanography immediately after the end-Permian biocrisis. *Earth-Science Reviews* 149 (2015), 163-180.
8. MANDL G.W. 2015: Das Kalkalpine Stockwerk auf GK50 Blatt 103 Kindberg. Arbeitstagung 2015 der Geologischen Bundesanstalt, 87-100.
9. MOSTLER H., RESCH W. & DONOFRIO D.A. 1982: Exkursion 1. Bozner Quarzporphyr und Werfener Schichten. Exkursionsführer, Jahrestagung Österr. Geol. Ges., Seis am Schlern, Südtirol 1982, 42-79.
10. MOSTLER H. & ROSSNER R. 1984: Mikrofazies und Palökologie der höheren Werfener Schichten (Untertrias) der Nördlichen Kalkalpen. *Fazies*, 10, 87-144.
11. MOSTLER H. 1989: Mit Zygomem ausgestattete Dermalia von Kiesel-

Untersuchung der Werfen - Gutenstein Transition der Nördlichen Kalkalpen
bei Aflenz

- schwämmen (Desmospongiae) aus pelagischen Sedimenten der Obertrias und des unteren Jura (Nördliche Kalkalpen). Jb. Geol. Bundesanst. Wien 132, 701726
12. MOSTLER H. 1990: Hexactinellide Poriferen aus pelagischen Kieselkalken (Unterer Lias, Nordliche Kalkalpen). Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck 17, 143178.
 13. NIEDERMEYER A.H.B. 1980: Zur Mikrofazies der oberen Werfener Schichten in den Südtiroler Dolomiten. Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 9, 183-219.
 14. OPDYKE B.N. & WILKINSON B.H. 1990: Paleolatitude distribution of Phanerozoic marine ooids and cements. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 78, 135-148.
 15. STANLEY S.M. 2009: Evidence from ammonoids and conodonts for multiple Early Triassic mass extinctions. PNAS, 106, 1526415267
 16. TOLLMANN A. 1976: Der Bau der Nördlichen Kalkalpen. Monographie der Nördlichen Kalkalpen, Teil III:-IX + 457 S., Wien
 17. TOLLMANN A. 1977-1986: Geologie von Österreich. Deuticke (3 Bände), Wien