



universität
wien

MASTERARBEIT

Isotope chemostratigraphy at Leislingkogel, Northern
Calcareous Alps, Austria:
A key section to understand the premises of the major
marine environmental changes in the late upper Triassic

Philipp Heilig, B.Sc

angestrebter akademischer Grad
Master of Science (M.Sc)

Wien, 2012

Studienkennzahl lt. Studienblatt:	A 066 815
Studienrichtung lt. Studienblatt:	Masterstudium Erdwissenschaften UG2002
Betreuer:	Ao. Univ.-Prof. Dr. Leopold Krystyn

Für Georg, Raffaella, Felix, Josef und Kunigunde

Inhaltsverzeichnis

1. Danksagung	7
2. Motivation zu dieser Arbeit	9
3. Zusammenfassung	11
4. Abstract	13
5. Einleitung	15
5.1 Schwerpunkte der Untersuchung	16
6. Grundlagen	17
6.1 Tethys-Entwicklung und marine Chemostratigraphie vom Späten Perm bis zum Ende der Trias	17
6.1.1 Die Trias	17
6.1.2 Die Reingrabener Wende	18
6.1.3 Norium bis Trias / Jura Grenze	19
7. Geologie und Geografie Leislingkogel bei Bad Goisern - St. Agatha	23
7.1 Zur tektonischen und sedimentologischen Entwicklung der Nördlichen Kalkalpen und des Juvavikums	24
7.2 Hallstätter Fazies	25
7.3 Zlambach Fazies	27
7.4 Profilaufnahme	30
7.4.1 Die Lage der Profile	30
8. Zur Methodik und Auswertung chemostratigraphischer Analysen im Labor	33
8.1 Grundlagen der Geochemie stabiler Isotope	33
8.1.1 Allgemeines zur Natur der Elemente	33
8.1.2 Isotopeneffekte und Fraktionierungsprozesse	34

8.1.3 Berechnung, Notation und Standards	34
8.1.4 Die Geochemie von Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopen	35
8.2 Technische Ausstattung und Analyse	35
9. Ergebnisse	37
9.1 Zur Probennahme und Qualität der Proben	37
9.2 Zur Fazies des Leislingkogels	37
9.3 Zur Bio- und Conodontenstratigraphie des Leislingkogels	40
9.4 Datenauswertung Profil	43
9.5 Zur Auswertung der Ergebnisse aus der Isotopenanalyse	45
9.6 Ergebnisse der Isotopenanalyse	45
9.6.1 Entwicklung im Laciun	45
9.6.2 Entwicklung im Alaunium	47
9.6.3 Entwicklung im Sevatium	48
9.6.4 Norium/Rhätium Grenze und Interzeptions Zone	48
9.6.5 Entwicklung im Rhätium	49
10. Schlüsse aus den Untersuchungen	51
10.1 Grad der diagenetischen Alteration	51
10.2 Diskussion	52
10.3 Vergleich mit anderen Arbeiten	54
11. Zur Notwendigkeit zukünftiger Forschung	57
13. Abbildungsliste	65
14. Internetreferenzen	66
15. Anhang	67
Anlage A: Tabelle der ausgewerteten chemostratigraphischen Daten	67
16. Lebenslauf	71

1. Danksagung

Ich möchte mich bei allen Personen die mich in der Zeit, während ich diese Arbeit verfasst habe, bedanken. Alle Ratschläge und Hilfestellungen waren mir oft eine große Hilfe, um mir selbst ein Bild zu verschaffen, wie ich diese Arbeit verfassen soll. Einen besondern Dank möchte Leopold Krystyn und Sylvain Richoz aussprechen, die mich betreut haben und mir mit ihrem Fachwissen und Erfahrung jederzeit zur Verfügung standen. Auch möchte ich mich bei den folgenden Personen bedanken, die mir in der einen oder anderen Weise geholfen haben: Anna-Katharina Mautner, Antonino Briguglio, Carolina Blum, Christa Hofmann, Christian Baal, Christian Fleis, Christian Ulbrich, Franz Mayer, Georg Heilig, Kai-Uwe Hochhauser, Lisa Schmidinger, Lydia Holland, Martin Maslo, Martin Studeny, Melanie Hütterer, Roland Mayer.

2. Motivation zu dieser Arbeit

Mein stetig gewachsenes Interesse, mich mit den Möglichkeiten der Anwendung von stabilen und radiogenen Isotopen zu beschäftigen, hat mich durch einen glücklichen Umstand zum Arbeitsfeld der Paläoökologie geführt, die neben anderen Daten, auch stabile Isotope nutzt. Dabei war es für mich vorrangig von Bedeutung mich mit der grundlegenden Arbeitsweise zu beschäftigen, also alle Arbeitsschritte begonnen bei der Feldarbeit, über die Untersuchungen im Labor, bis zur Auswertung der Daten anhand eines konkreten Forschungsprojekts, kennenzulernen und durchzuführen.

Es ist mir wichtig, für andere Kollegen die bei ihren Studien Interesse an diesem Forschungsfeld haben, im Rahmen dieser Arbeit die praktische Arbeitsweise verständlicher zu machen.

3. Zusammenfassung

Das Norisch-Rhätische Profil des Hallstätterkalks des Leislingkogels bei Bad Goisern wurde sedimentologisch und geochemisch untersucht und chronostratigraphisch in die bereits vorhandenen biostratigraphischen Daten integriert. Durch günstige, natürliche Aufschlussverhältnisse und durch das Aufgraben verdeckter Bereiche konnte ein bankweise erfassbares detailliertes Profil mit rund 60m Mächtigkeit geschaffen und aufgenommen werden. Mikrofaziell besteht der Leislingkogel aus norischen, roten und grauen, gut gebankten, biomikritischen und partiell fossilreichen, reinen, pelagischen Kalken und rhätischen, grauen, tonreichen (Mergel)kalken und grauen bis schwarzen Tonmergeln.

Durch Ammoniten und Conodonten konnte das Profil zonenmässig untergliedert werden und umfasst den Zeitabschnitt des hohen Unternorium bis zum basalen Oberrhätium, ein Zeitabschnitt von mindestens 20 Millionen Jahren. Die Chemostratigraphie ergab eine lückenlose Isotopiekurve für $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$ Isotope über das Profil für den Zeitabschnitt des hohen Unternoriums bis zur Basis des Rhätium und, nach kurzer Störung eine Fortsetzung ins basale obere Rhätium. Unerwarteterweise wurden nur geringfügige Abweichungen in den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten (max. 1‰) innerhalb des Norium festgestellt. Auf einer stabilen Entwicklung im Unternorium (3,3‰) folgt im basalen Mittelnorium innerhalb kurzer Zeit (eine Ammonitenzone) ein Abstieg von rund 1‰ gefolgt von einer stabilen Phase während des mittleren Mittelnoriums mit (2,8‰). Im basalen oberen Mittelnorium steigt der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert kurzfristig um bis 0,5‰, um anschließend mit einem Abfall von 0,7‰ sich wieder dem Ausgangswert anzunähern. Dieser Wert bleibt bis ins höhere Obernorium stabil, und fällt an der Norium/Rhätium-Grenze um 0,5‰ ab. Nach einer störungsbedingten Datenlücke im unteren Rhätium zeigen die stabilen Isotopenwerte leider starke Schwankungen (bis zu 4‰) die eine exakte Interpretation erschweren. In jedem Fall fällt die Kurve im Mittelrhätium um 1‰ ab und scheint bei 1,8‰ wieder stabil zu werden. Aufgrund der beschriebenen geringen Veränderungen scheint die $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopie von den im Norium stattfindenden marinen Faunenevents abgekoppelt zu sein. Darauf deuten auch Vergleichsuntersuchungen in anderen Tethys-Teilen hin. Stärkere Isotopieschwankungen aus dem Pantalassabereich Nordamerikas lassen sich nur bedingt vergleichen, da sie im Wesentlichen auf C_{org} -Analysen beruhen, bei denen die Frage der Herkunft des Kohlenstoffs unklar ist. Die Magnetostratigraphie wird am Institute de Physique du Globe (Paris) von Dr. Y. Gallet bearbeitet.

Schlüsselwörter: Leislingkogel, Nördliche Kalkalpen, Hallstätterkalk, Obertrias, Kohlenstoffisotope, Sauerstoffisotope

4. Abstract

The Rhaetian-Norian profile of the Halstatt limestones of Leisling Kogel was investigated sedimentological and geochemical including chronostratigraphy with existing biostratigraphic data. By favorable natural conditions and digging up hidden areas it was possible to record a detailed profile with round 60m. It includes Norian red and gray, well banked, and partially biomicritic fossil-rich, pure, pelagic limestones and gray clay-rich Rhaetian (marl) lime and gray to black marls. By ammonites and conodonts, it was possible to divide the profile into zones and covering the period of the upper rhaetian to lower norian until a period of at least 20 million years. The chemostratigraphy revealed a complete isotope curve for $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ isotopes over the profile for the period of high lower norian to the base of rhaetian and, after a brief disruption to continue into the basal upper rhaetian. Unexpectedly, only minor variations in the $\delta^{13}\text{C}$ values (within 1‰) were detected within the Norium. On a stable development in upper norian (3.3‰) into the basal middle norian follows within a short time (one ammonite zone) a degression of about 1‰, followed by a stable phase during the middle middle norian with 2.8‰. The basal upper middle norian displays an increasing of the $\delta^{13}\text{C}$ value in a short term by up to 0.5‰ followed by a drop of 0.7‰ again to approach the initial value. This value remains stable up to higher upper norian, and falls off at the norian / rhaetian boundary to 0.5‰. After a data gap in the lower rhaetian the stable isotope values indicate unfortunately large fluctuations (up to 4‰) and complicates the accurate interpretation. In each case, from the middle rhaetian the curve falls up to 1‰ and seems to be stable again to 1.8‰. Because of the described small changes to the $\delta^{13}\text{C}$ isotopes it seems the $\delta^{13}\text{C}$ isotopes in norian looks to be uncoupled from occurring marine fauna events. Further comparative studies in other parts of Tethys indicated similar results. Stronger isotope variations from Pantulassa of North America are calibrated only to a less of comparative studies, since they are based mainly on C_{org} analyzes in which the question of the origin of the carbon is unclear. The magnetostratigraphy is handled at the Institute de Physique du Globe (Paris) by Dr. Y. Gallet.

Keywords: paleontology, paleoclimatology, carbon isotope, oxygen isotope, Halstatt facies, biostratigraphy, conodonts, chemostratigraphy, Triassic

5. Einleitung

Nach unserem heutigen Wissenstand zählen wir das Massenaussterben am Ende der Trias zu den fünf bedeutendsten Ereignissen ihrer Art in der Erdgeschichte, das global betrachtet massive Veränderungen in der terrestrischen Flora und Fauna und vor allem in der marinen Flora, bewirkt hat. Mit ca. 95% der Meeresorganismen, die diese Zeit nicht überlebt haben, können wir hier einen Eindruck gewinnen wie wichtig es ist mehr über die Ursachen zu erfahren.

Österreich besitzt in den Nördlichen Kalkalpen (NCA) eine sehr bedeutende Triasentwicklung, die sich zur Erfassung solcher Events in der Obertrias hervorragend eignet. Die bisherige chemostratigraphische Erforschung der alpinen Obertrias konnte allerdings mit dem geologischen und (bio-)stratigraphischen Fortschritt nicht Schritt halten. Schuld daran war das Fehlen lückenloser bzw. gut datierter, stratigraphisch umfangreicher Profile, die geeignetes kontinuierliches Probenmaterial für stabile Isotopenstudien hätten liefern können.

In die Ablagerungszeit des von mir bearbeiteten Profils fallen mehrere faunistische Turnovers bzw. Aussterbe-Events, die sowohl die pelagische als auch die Riff-Fauna betreffen. Bei vergleichbaren frühtriassischen Events zeigt die Kohlenstoffisotopenkurve abnormale Entwicklungen (starke Exkursionen). Bisherige, allerdings wenig detaillierte $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopendaten aus dem Norium und Rhätium sind jedoch ohne besondere Veränderungen dokumentiert (Tethys/Sizilien: Muttoni et al. 2001, Muttoni et al. 2004). Weitere, allerdings nur kurze Zeitabschnitte umfassende Studien aus dem Panthalassa-Bereich (Ward et al. 2001, 2004; Williford et al. 2006; Septhon et al. 2002; Witheside et al. 2011) weichen interessanterweise von den Ergebnissen Muttoni's ab. All das war Anlass zur Bearbeitung des Leislingkogels, der erst vor kurzem (2007) im Gefolge der intensiven Suche nach einem geeigneten internationalem Referenzprofil (GSSP), für die Norium/Rhätium-Grenze im Salzkammergut entdeckt wurde. Die Bearbeitung der Lokalität wurde vor längerem durch einen massiven Windbruch begünstigt, der zur kompletten Entwaldung des Kogels führte. Durch die nachfolgende Erosion waren nur mehr kleinräumige zusätzliche Aufgrabungen nötig, um eine durchgehende Aufschlussituation mit entsprechend genauer Beprobungsmöglichkeit zu schaffen.

5.1 Schwerpunkte der Untersuchung

Dem Umstand, dass der Zeitabschnitt unteres Norium bis mittleres Rhätium ungenügend durch chemostratigraphische Daten belegt ist, trägt diese Arbeit Rechnung in dem die folgenden Punkte bearbeitet werden sollen.

- a) Im Rahmen der Feldarbeit soll ein Profil erarbeitet werden, in dem die Mächtigkeiten der einzelnen Bänke eingehen, deren Lithologie und sedimentologischen Charakteristika und alle im Feld erkennbaren weiteren Besonderheiten. Besonderer Schwerpunkt liegt in der sorgfältigen Dokumentation der erhobenen Daten und ihrer Aufbereitung für diese und eventuell zukünftige Untersuchungen.
- b) Ergebnisse aus der Conodontenstratigraphie, Faziesanalysen und paläontologische Befunde der Organismen aus den Proben wurden von Leopold Krystyn übernommen (Krystyn 2012, unveröffentlicht).
- c) Es sollen weiters Proben für chemostratigraphische Untersuchungen gesammelt werden. Diese werden nach $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$ Isotope analysiert und in Kombination mit den Ergebnissen des Profils soll eine Isotopenkurve erstellt werden. Schwerpunkt liegt hier bei der Untersuchung von Gesamtgesteinproben nach $\delta^{13}\text{C}$ -Werten zur Untersuchung der Produktivität über den untersuchten Zeitabschnitt.
- d) Es soll eine Diskussion der Ergebnisse mit bisherigen Forschungsergebnissen anderer Forscher durchgeführt werden (Krystyn et al. 2007, Richoz et al. 2012a, Ward et al. 2001, 2004, Williford et al. 2006, Septhon et al. 2002, Witheside et al. 2011).
- e) Es sollen soweit möglich Interpretationen der Ergebnisse durchgeführt werden.

6. Grundlagen

6.1 Tethys-Entwicklung und marine Chemostratigraphie vom Späten Perm bis zum Ende der Trias

Im Übergang aus dem Oberen Perm in die Untere Trias können wir einen Faunenschnitt verzeichnen, ebenso am Ende der Trias zum Jura hin, die beide zu den größten Massenaussterben der Erdgeschichte zählen. Besonders das Event am Ende der Trias ist ein interessanter Forschungsschwerpunkt (Preto et al. 2010), da die chemostratigraphische Entwicklung der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte keine auffälligen Veränderungen erkennen lassen. Um das Trias/Jura Event besser zu verstehen, soll zuerst einmal die globale Entwicklung der Trias in klimatologischer, paläontologischer und geologischer Sicht näher betrachtet werden.

6.1.1 Die Trias

Die äquatoriale Lage Gondwanas und seine flächenmäßige Ausdehnung begünstigte die Ausbildung trockener Wüstengebiete im Landesinneren. Und der Trend zu warmen Klimaten zum Ende des Mesozoikums hin setzt sich fort. Die Bildung Gondwanas prägt die terrestrische florale und faunale Entwicklung entscheidend und es sei für die terrestrische florale Entwicklung das Auftreten von Dinosauriern und Säugetieren ab der mittleren Trias erwähnt. Paläogeografisch schreitet der weitere Zerfall Gondwanas der im Oberen Perm bereits einsetzt fort, begleitet von einer Regression des Meeresspiegels über die Perm/Trias Grenze, die sich weiter fortsetzt. Im Ozean steht am Beginn der Trias eine Riffkrise als Ursache der Entwicklungen zum Ende des Perms, dies führte zu einer Lücke in der Riffbildung von ca. 7 Ma. Der Rückgang des marinen Lebens hat einer Vielzahl von neuen Organismen ihre Ausbreitung ermöglicht. Während noch im Perm Rugose und Tabulate Korallen, Schwämme, Kalkalgen und Bryozoen als Riffbildner beteiligt waren, ändert sich dies in der Trias (Kiessling et al. 2002). Nun sind Scleractine Korallen und Schwämme als Hauptriffbildner zu sehen. Das Auftreten von Dinoflagelaten und *Coccolithophorida* für die unterste Ebene der Nahrungskette ist belegbar (Kiessling et al. 2002). Für die höheren Lebensformen sind Plesiosaurier und Placodontier ab der mittleren Trias zu erwähnen. Die bereits seit dem mittleren Paläozoikum existierenden

Conodonten und die ceratitischen Ammoniten bekommen speziell in der Trias große Bedeutung für die Biostratigraphie.

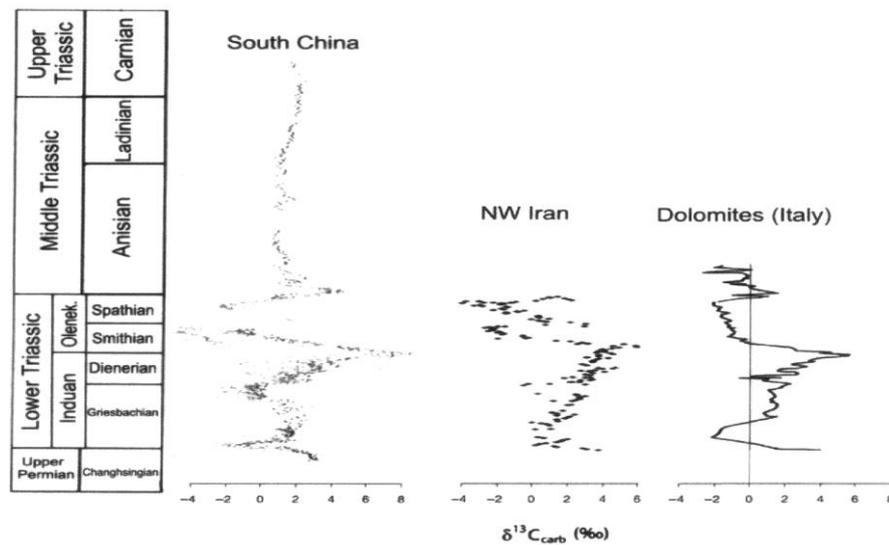


Abbildung 1: Entwicklung der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in der unteren Trias (Tanner 2010)

Chemostratigraphisch können wir über die Perm/Trias-Grenze eine starke negative Exkursion von 2 bis 4‰ der $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ Werte verzeichnen, die mit dem Extinktion-Event in Verbindung gebracht wird (Tanner 2010). Die folgende, stark oszillierende Entwicklung der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte, die sich weltweit im sedimentären Rekord wiederfindet, unterliegt einer starken Diskussion. Vermutliche vulkanische Aktivitäten und Methanausgasungen können den organischen Kohlenstoff beeinflusst haben (Tanner 2010), es ist jedoch kaum erklärbar in welcher Weise die sehr starken Ausschläge mit der organismischen Erstarkung nach dem Faunenschnitt in Verbindung gebracht werden können (Tanner 2010).

6.1.2 Die Reingrabener Wende

Die Reingrabener Wende lässt sich zunächst durch eine Änderung der zur Ablagerung gelangten Sedimente erkennen. Dabei kamen Flachwasserplattformsedimente wie der Wettersteinkalk und Beckensedimente der Reiflingerschichten und Partnachsichten zur Ablagerung, gefolgt von Tonschiefer- und Mergel (Reingrabenschiefer, Raiblerschichten) die diese überlagern (Schlager et al. 1973).

Ökologisch können wir die Riffzusammensetzung von karnischen und norischen Riffen vergleichen. Wir können feststellen, dass die ökologisch und evolutionär bedeutende Faktoren zu unterschiedlichen Ausbildungen von Riffvergesellschaftungen geführt haben. Im Karnium können die folgenden Beobachtungen gemacht werden, die sich jedoch erst im Norium auswirken (Kiessling et al. 2002).

1. Erklärungen für diese Veränderungen finden wir zuerst in Meeresspiegelschwankungen und einer Salinitätskrise in der westlichen Tethys im Tuvalium und durch einen weltweiten Wasserspiegeltiefststand und wiederkehrende Regression-Transgressions Oszillationen (Kiessling et al. 2002).
2. Ein weiterer Grund sind Änderungen in der Paläogeografie durch den Einfluss der Indosinian Orogenese auf den nördlichen Arm der Neotethys (Kiessling et al. 2002).
3. Wir finden im Mittleren bis oberen Karnium eine Änderung von trockenen zu feuchten Monsunen (Kiessling et al. 2002).
4. Weiters ist eine Änderung am Nährstoffeintrag festzustellen. Die Änderung begünstigte das Wachstum von kleinen und schnell wachsenden, epibenthischen Organismen (Kiessling et al. 2002).

Anhand der *Abbildung 1* lässt sich eine kontinuierliche Entwicklung der Isotope bis zur Reingrabener Wende beobachten, die mit einer leichten Abnahme verbunden ist. Erst ab diesem Ereignis lässt sich wieder eine Zunahme der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte beobachten. (Krystyn et al. 2008). Neueste Untersuchungen stellen diese Annahme jedoch in Frage (Richoz S., mündl. kommun.)

6.1.3 Norium bis Trias / Jura Grenze

Wir beobachten im Norium bis zum Rhätium ein dauerndes Riffwachstum, begleitet von einer Transgression des Meeresspiegels. Ökologisch zeichnen sich hier die Riffvergesellschaftungen durch Änderungen in den paläogeografischen Verbreitungen, Rifftypen, Zusammensetzung der Taxonomie und ihrer biogenen Diversität aus. Diese Entwicklung finden wir bis zum Oberen Norium (Sevatium) und auch noch im untersten Rhätium, bricht dann ab (Kiessling et al. 2002) und endet wiederum in einem

dokumentierten Massenaussterben. Marin sind hier ca. 50-60% der Arten betroffen. Die starke Dezimierung der Conodonten und der ceratitischen Ammoniten, die Infolge dessen Aussterben, sind hier zu erwähnen, während die *Cocolithophorida* einen evolutionäre Schub ab dem Jura (Gradin et al. 2012, Richoz et al. 2012) erfahren.

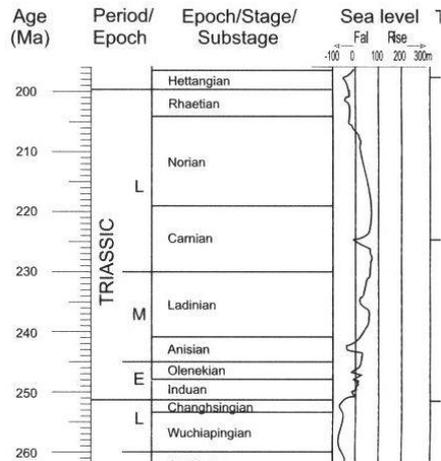


Abbildung 2: Meeresspiegelschwankungen in der Trias (Kiessling et al. 2002)

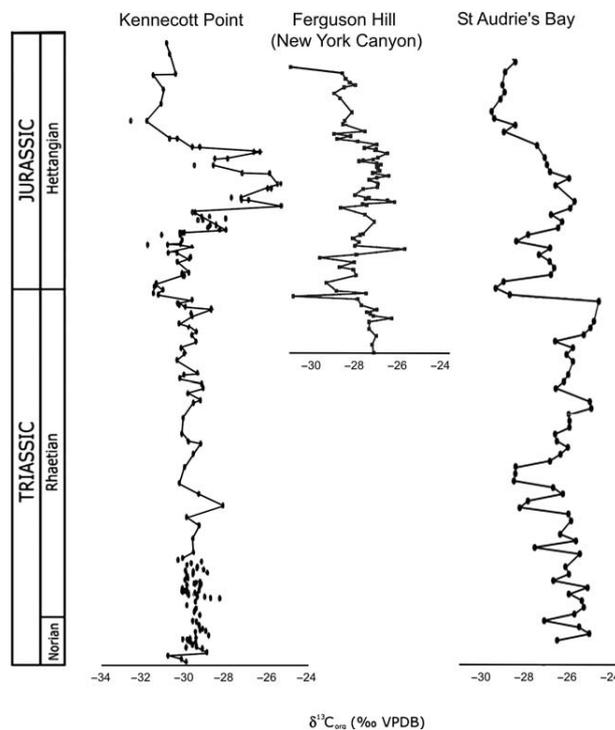


Abbildung 3: Entwicklung der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in der oberen Trias (Tanner 2010)

Besonders markant ist das Nichtauftreten von Riffen ab dem Rhätium an den Rändern der offenen Meere (Dachstein Fm.) in den nördlich Kalkalpen. Mögliche Erklärungen der

Entwicklung des Liasiums bis ins Rhätium sind Änderungen des Meeresspiegels durch eine große weltweite Regression und Änderungen im Klima, gefolgt von einer Transgression im Liasiums und anoxischen Events (Kießling et al. 2002). Neueste Untersuchungen stellen diese Meinungen als Ursache infrage, und das Auftreten eruptiv bedingter Entgasungen des CAMP (Ricoz et al. 2012, Van de Schootbrugge et al. 2009) oder eventuell Methanausgasungen (Ruhl et al. 2010) sind hier wahrscheinlicher. Die mit der Mittleren Trias aussetzende, starke Oszillation der Kohlenstoffwerte geht in eine kontinuierliche Entwicklung über, die sich bis zum Ende der Trias mit einer Abnahme von 1-3 ‰ $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ fortsetzt und wird weltweit beobachtet. (Tanner 2010). Vergleiche Abbildung 1 und 3. Jedoch sind die Forschungsergebnisse aus dem Zeitabschnitt des Noriums bis Rhätiums derzeit noch spärlich und lassen daher kaum eindeutige Interpretation zu. Die veraltete Meinung es handelt sich Ende der Trias um ein einzelnes Ereignis, muss nach Meinung Kiesslings (Kießling et al. 2002), der bereits von zwei Events spricht, infrage gestellt werden. Wobei neueste Untersuchungen keine zwei Ereignis mehr erkennen lassen und Kiessling ebenso infrage zu stellen ist. Die Ursachen sind jedoch weitgehend unbekannt. (Kießling et al. 2002, S.424, Ruhl et al. 2010, Van de Schootbrugge et al. 2009, Ricoz et al. 2012a, Tanner 2007, 2010).

7. Geologie und Geografie Leislingkogel bei Bad Goisern - St. Agatha

Das im südlichen Oberösterreich gelegene Salzkammergut mit den bekannten Gemeinden Bad Ischl, Bad Goisern und dem historisch bedeutenden Hallstatt ist geologisch ein Teil der Nördlichen Kalkalpen (NCA), die mit den Hallstätter Kalken zum bedeutendsten Fundgebiet obertriassischer Faunen, deren Erforschung bereits durch Hauer Mitte des 19. Jhdts. begonnen und später durch Mojsisovics und Diener fortgesetzt wurde, zählen.



Abbildung 4: Bad Goisern im Salzkammergut – Übersicht (Martin Maslo)

Das Untersuchungsgebiet am Leislingkogel liegt östlich von Bad Goisern - St. Agatha. Erreichbar ist der Fundort, indem man an der Kreuzung in St. Agatha nahe der Tankstelle von der Bundesstrasse 145 nach Pichlern abzweigt und am Gasthaus Halleralm vorbei der Forststrasse ca. 7km nach Osten bis knapp vor deren Ende folgt. Von dort steigt man nordwärts etwas über 100 Höhenmeter zum Gipfel des von uns so bezeichneten „Leislingkogels“ (N 47° 38' 46,2" O 13° 41' 59,4") auf. Der Kogel ist eine auf der ÖK 96 Bad Ischl unbenannte Höhenkuppe, die zwischen dem Schneckenkogel im Westen und der Leislingwand im Osten liegt. Das rote Quadrat in der unten dargestellten Karte (Abb. 5) zeigt die Lage des Leislingkogels an.

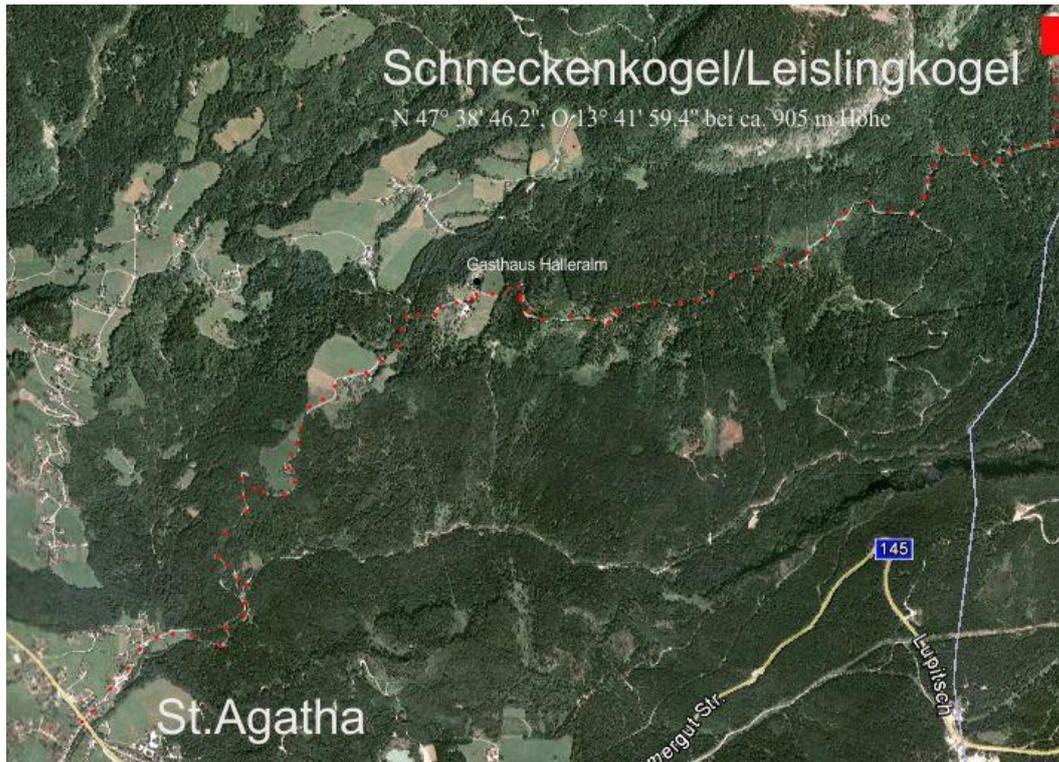


Abbildung 5: Satellitenkarte verändert durch Heilig Ph. aus Google Maps©

7.1 Zur tektonischen und sedimentologischen Entwicklung der Nördlichen Kalkalpen und des Juvavikums

Vom späten Jura bis Paläogen ist in mehreren Phasen durch tektonische Deformationsprozesse ein Deckensystem, die Nördlichen Kalkalpen, entstanden, das nördlich durch die Rhynodanubische Flyschzone und südlich durch die Grauwackenzone seine Begrenzung findet. Die permo-mesozoischen Sedimente verloren dabei größtenteils ihr kristallines Basement. Auf Grund ihrer tektonischen Entwicklung erstrecken sich nun von Süd nach Nord die Deckengruppen des Bajuvarikums, Tirolikums und Juvavikums (Frisch et al. 2001). Die Decken des Bajuvarikums bilden die untersten Einheiten der NCA, die von denen des Tirolikums überlagert werden, und zu dieser für das Salzkammergut bedeutendste die Totengebirgsdecke zählt. Es folgen die dem Juvavikum zugeordneten Einheiten der Dachsteindecke und Hallstätter Decke, die der jeweilig vorangehenden Einheit aufliegt (Pistotnik et al. 1973, Richo et al. 2012b). Vergleiche Abbildung 9.

Als Teil der östlichen Alpen sind die Nördlichen Kalkalpen repräsentativ für die Sedimentablagerung eines ca. 300 km weiten und bis zu 500 km langen Teils der westlichen Neotethys, die wir heute noch vorfinden (Krystyn et al. 2009). Die Reihenfolge

sedimentärer Ablagerungen der NCA beginnt mit permischen, kontinentalen, roten Sedimenten, Konglomeraten, Sandsteinen und Schiefen der Prebichl Formation, die transgressiv frühpaläozoische Gesteine der Grauwackenzone überlagern. Die permische, marine Fazies des Haselgebirges, die eine Sandstein-Ton-Evaporit Assoziation bildet, ist häufig in den juvavischen Einheiten aufzufinden und bildet die Salz- und Gipslagerstätten der Hallstätter Zone. Die Werfener Formation wird der früheren Trias zugeordnet und bildet sich weitgehend aus flachmarinen Siliziklastika mit Kalkschichten und einer stagnierenden Ammoniten und Conodonten Fauna. Ab der Mittleren Trias dominiert eine karbonatische Sedimententwicklung die mit den Gutensteiner Kalke bzw. Dolomiten im Liegenden beginnt und den Kalken der Hauptdolomit Fm., Dachstein Fm und Hallstatt Fm. im Hangenden ihren Abschluss findet. Abgeschlossen wird die sedimentäre Entwicklung durch tonige/mergelige Schichten der Zlambach Fm. bzw. Kössen Fm. (Pistotnik et al. 1973, Tollmann 1976a, Tollmann 1976b, Tollmann 1985, Mandl et al. 1999, Richoz et al. 2012b). Vergleiche Abbildung 6.

7.2 Hallstätter Fazies

Die Hallstattfazies ist geprägt durch eine größere Anzahl faziell unterscheidbare Kalke und entspricht einer pelagischen Beckenentwicklung der triassischen westlichen Neotethys. Die Erforschung, begonnen durch Mojsisovic und Diener durch Arbeiten an Ammoniten, führte zu einer ersten Einteilung der Trias und Arbeiten von Schlager zur ersten Lithostratigraphie der Trias. Weiterführende Arbeiten von Krystyn an Conodonten zur stratigraphischen Zonierung der Trias setzten die Bemühungen fort, die Trias lithostratigraphisch und biostratigraphisch zu erfassen und zu zonieren. Die beiden Subfazies Pötschenfazies und Salzbergfazies (durch Diapirismus permischer Evaporite beeinflusste, variierende Hallstätter Kalke) stellen die Haupteinheiten der Hallstätter Zone dar (Richoz et al. 2012b). Wir können nun die komplexen Verhältnisse der Hallstätterfazies durch eine Vielzahl an Faziestypen erkennen und unterscheiden nun die Buntkalkfazies und Graukalkfazies der Hallstätter Fazies.

7.2.1 Buntkalkfazies

Die Buntkalkfazies wird durch eine Zahl unterschiedlich ausgeprägter Kalke gebildet. Den geologischen Unterbau dieser Gesteine bilden Werfener Schichten, Gutensteinerschichten, Steinalmkalk und Reiflingerschichten, die bereits ab dem Skyth/Anis abgelagert wurden. Zu den Hallstätterkalken, die bereits aus dem Anis bekannt sind, zählen die bekannten Schreyeralmkalke, die aus dem Mittelanis bis zum Ladin zur Ablagerung kamen. Besonders auszeichnend für diesen Kalk sind dickbankige, rote Biomikrite, oft begleitet von Eisenoxidkrusten und Subsoltion. Die grauioletten Bankkalke zeichnen sich faziell durch eher mikrosparitisches Gefüge aus, die auch kieselige Kalke mit Bankmächtigkeiten von 10 bis 20 cm enthalten. Die grauviolette Farbe ist ein unverkennbares Kennzeichen dieses Kalkes. Ein weiterer Vertreter ist der rote Knollenflaserkalk dessen fleischrote Farbe und knollige fasriges Gefüge namensgebend ist, begleitet von Eisenoxidkrusten und Subsoltion.

Der rote Bankkalk besteht aus fleisch- bis hellroten Biomikriten, der sich durch starke Bioturbation und Zerstörung der sedimentären Einregelung auszeichnet.

Mit dem Massigen Hellkalk, der über einen Mikrit aus wechselndem Gehalt von Halobien-Schalen besteht und eine weiße, gelblich rosa Farbe zeigt, kommen wir zu den Hangendrotkalken. Dieser biomikritische Kalk ist durch starke Bioturbation gezeichnet.

7.2.2 Die Graukalkfazies

Die zweite bedeutende Fazies ist die ab dem Karn abgelagerte Hallstätter Graukalkfazies. Der Unterbau wird dabei durch Werfenerschichten, Gutensteinerschichten, Steinalmkalk, Reiflingerschichten und Lunzer-Reiblerschichten gebildet. Hier sind zuerst die Pötschenschichten zu nennen, die sowohl zu den Lunzer-Reiblerschichten, wie auch den Zambblachsichten keine sehr scharfe Abgrenzung finden. Kalke, die wir den Pötschenschichten zuordnen, sind dabei zuerst einmal der Pötschenkalk. Dieser ist ein hornsteinführender, feiner Kalk von 10 bis 30 cm mächtigen Bänken von heller bis dunkelgrauer Farbe. Das Gefüge ist mit Mikrit bis Mikrosparit und unterschiedlichem Gehalt an Intraklasten und biogenem Material sehr unterschiedlich.

Weiters sind Kalkarenite, die vereinzelt vorkommen, zu nennen. Mit brauner Farbe weisen sie Bioturbation und häufige Gradierung auf und können bis ca. 50cm mächtige Bänke bilden. Die Petatakalke sind besonders durch das Auftreten von Lumachellen mit

Halorella pedata gekennzeichnet und treten oft in Wechsellagerung mit den oben beschriebenen Kalkareniten auf. Abschließend ist noch der Dolomit als Teil der Hallstätter Graufazies anzuführen und bestehen aus den beschriebenen Kalken der Pötschen-Schichten die eine seitliche, diagenetische Umwandlung erfahren haben (Flügel et al. 1972).

7.3 Zlambach Fazies

Die Zlambachschichten bilden die oberste Einheit und stellen die rhätischen Sedimentablagerungen der Trias dar. Dabei bildet sie eine Übergangszone von ein bis mehreren Metern Mächtigkeit mit den Hallstätterkalken, die diese überlagern und zeigen damit das Ende der karbonatischen Sedimentablagerungen des Noriums in mergelige/tonige Sedimentablagerungen des Rhätiums an. Kennzeichnende Faunenelemente sind korallenreiche Faunen mit zusätzlichen Elementen von Schwämmen, Hydrozoen Bryozoen, Brachiopoden, Echinodermen, Foraminiferen und Ostracoden. (Flügel et al. 1972, Krystyn et al. 2008, 2009, Richoz et al. 2012b).

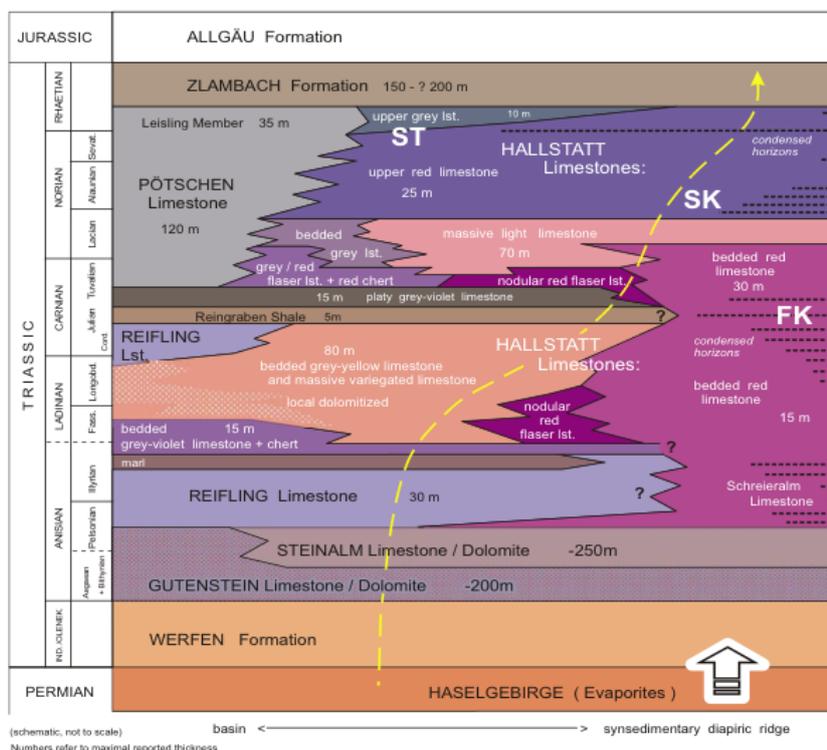


Abbildung 6: Lithologische Diversität der Hallstätter Kalke (Mandl et al. 1999) und farbliche Legende zu Abbildung 7 und 8

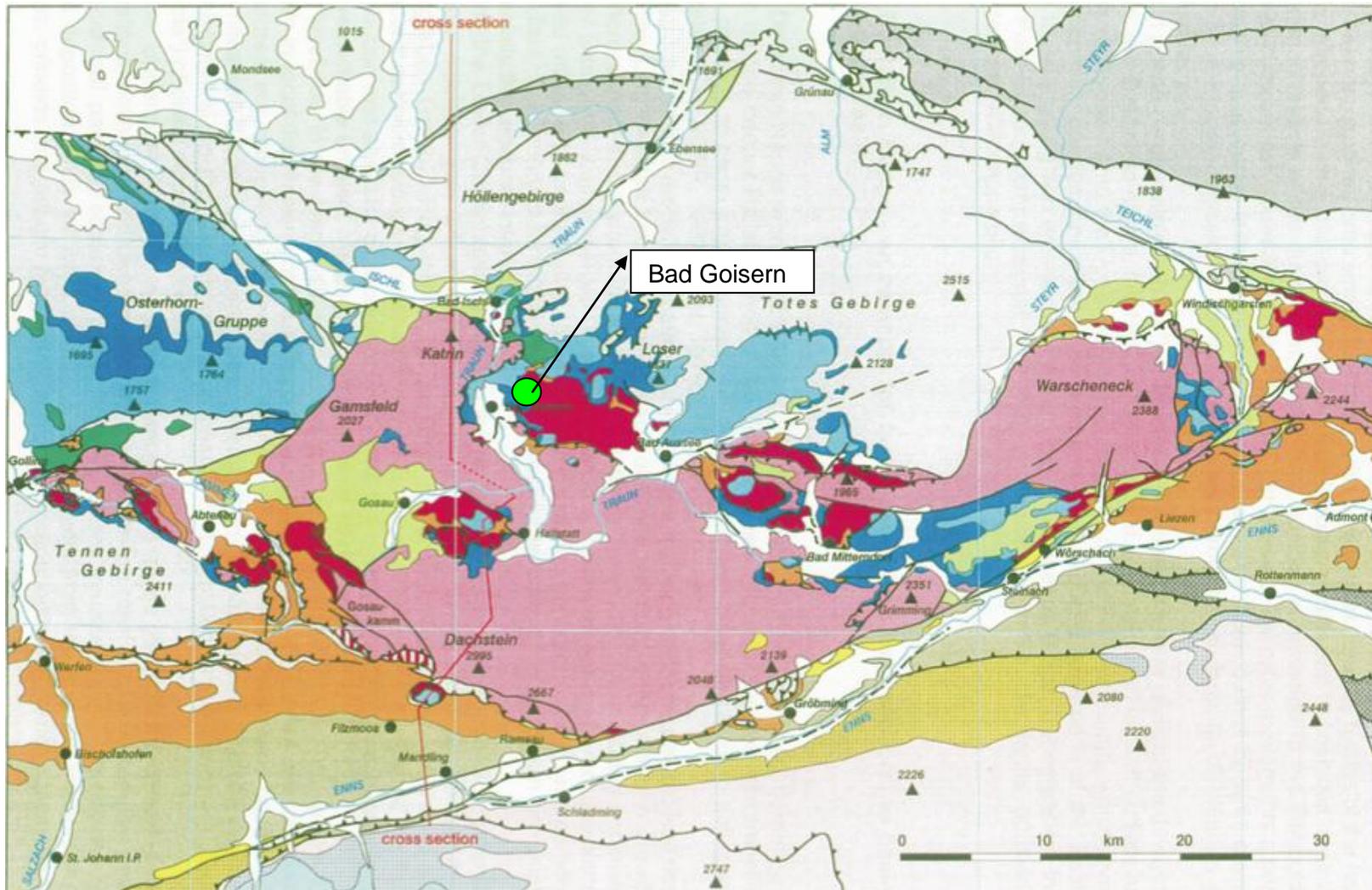


Abbildung 7: Geologische Übersichtskarte des Salzkammerguts (Mandl et al. 1999)

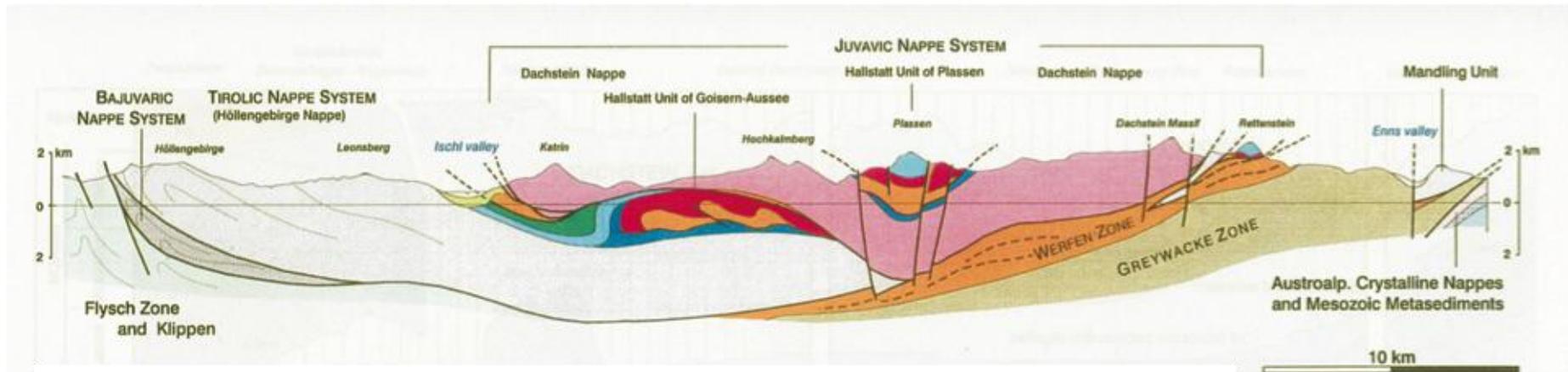


Abbildung 8: Querschnitt durch den Deckenbau des Juvavikums (Mandl et al. 1999)

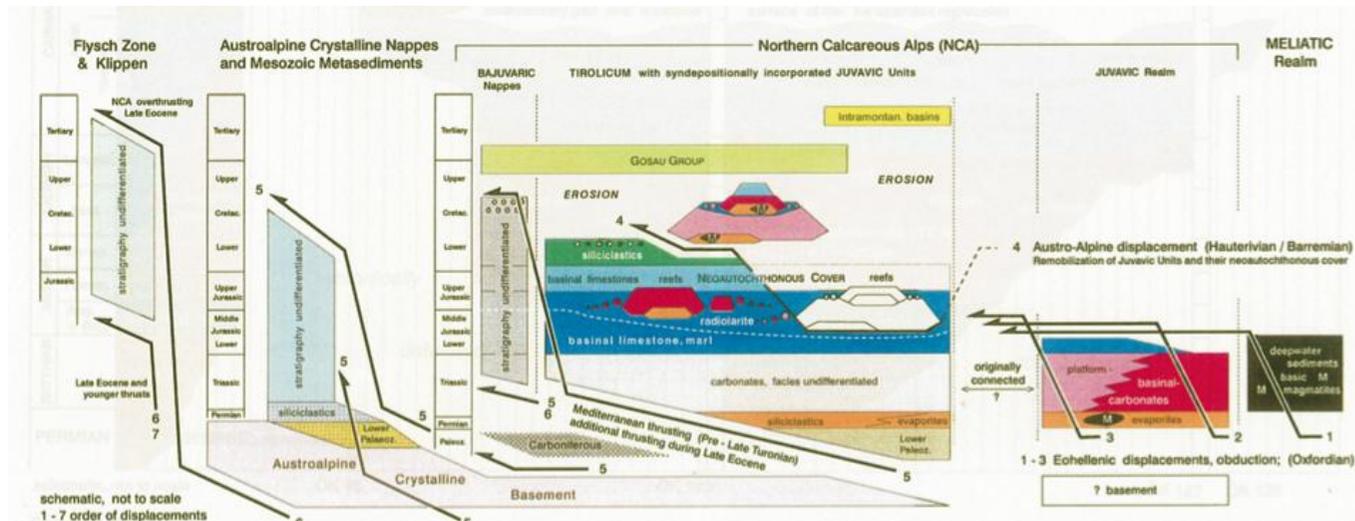


Abbildung 9: Zusammenhang der Sedimentation und der tektonischen Verschiebungen im Mittelbau der nördlichen Kalkalpen (Mandl et al. 1999)

7.4 Profilaufnahme

Eine der vordringlichsten Arbeiten, um chemostratigrafische Auswertungen vornehmen zu können, ist das geländemäßige Erfassen aller relevanten Informationen, die für eine Interpretation nützlich sein können. Dazu erfolgte eine Geländekartierung mehrerer Profilabschnitte und die Erfassung geologischer Daten wie Profil- und Banklängen, Faziesbeschreibungen, Fossilfunde, Vermessungsdaten und Daten für paläomagnetische Untersuchungen. Siehe Abbildung 18.

7.4.1 Die Lage der Profile

Im Orthofoto des Grabungsgebietes (Abbildung 10) sind die einzelnen Profile, mit allen Details verzeichnet, die zur Bestimmung der Lage erforderlich sind. Die darin eingezeichneten grünen Punkte zeigen die Profile LL1-LL3 aus dem Jahr 2009 an, die rote Nummerierung bezeichnet die Vermessungspunkte und die Messstrecken der Profile LL0, LL4-LL9 sind mit blauer Farbe gekennzeichnet.

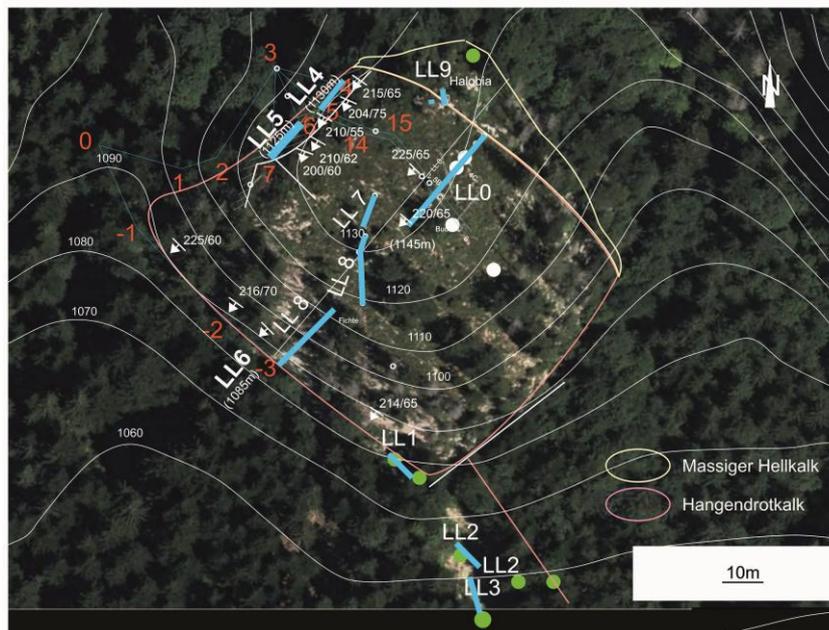


Abbildung 10: Orthofoto aus der Vermessung des Geländes am Leislingkogel (nach Martin Maslo und Philipp Heilig, unveröffentlicht)

Abbildung 11 zeigt eine Projektion der Einzelprofile in einem idealen NO-SW Profilschnitt des Leislingkogels, die die ungefähre Lage der einzelnen Profile in Bezug zur Oberfläche darstellen soll.

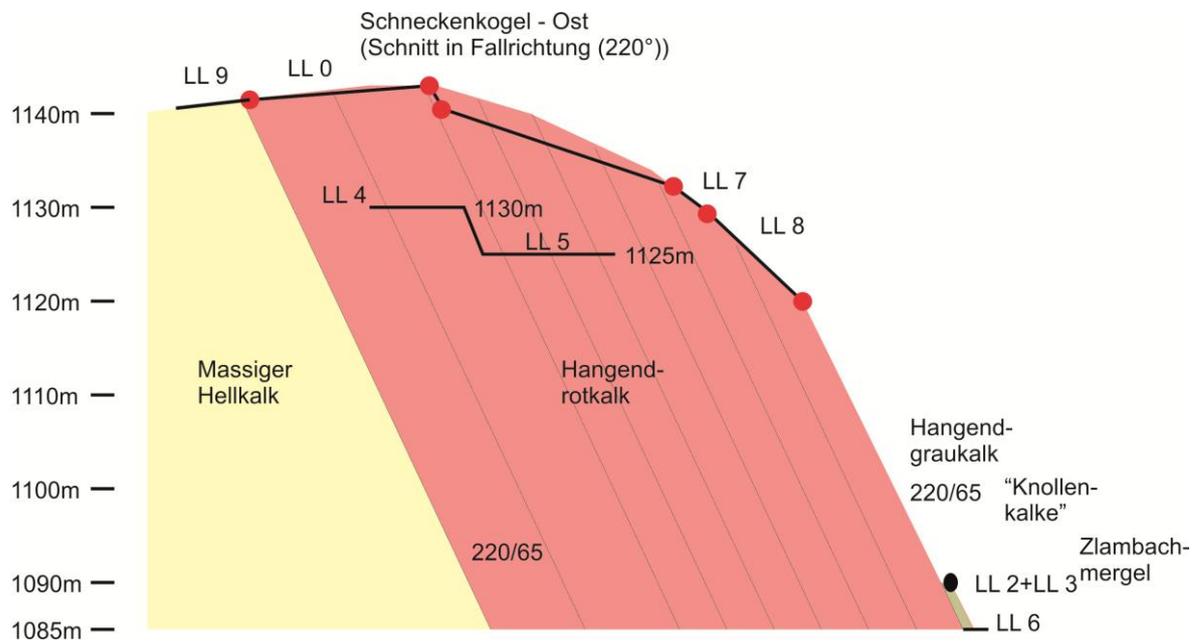


Abbildung 11: Hangquerschnitt der Profile am Leislingkogel (nach Martin Maslo und Philipp Heilig, unveröffentlicht)

Die aufgeschlossenen Bänke der Hallstatt Fm. treten mit einem Streichwinkel von durchschnittlich 210-223° und einem Fallwinkel von ca. 60-65° aus dem Gelände aus, und bieten mit den diesen fast senkrecht ausgerichteten Bänken eine gute Möglichkeit der geländemäßigen Erfassung von Daten. In Bezug auf die Faziesuntersuchung und die Mikropaläontologie sei auf die Kapiteln 9.2 und 9.3 verwiesen.

8. Zur Methodik und Auswertung chemostratigraphischer Analysen im Labor

Untersuchungen von Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopen finden in den unterschiedlichsten wissenschaftlichen Disziplinen ihre Anwendung. Das Wissen, wie sich die Isotopie nun in den einzelnen biologischen und geologischen Prozessen verändert, lässt aus den gewonnenen Isotopenkurven Schlussfolgerungen über den Untersuchungsgegenstand zu. Die gemessenen Werte können Informationen über die Wasserchemie, Salinität, Oxidation, Produktivität und Temperatur als Proxy liefern und sind daher ein bedeutendes Werkzeug der modernen Analysetechnik.

8.1 Grundlagen der Geochemie stabiler Isotope

8.1.1 Allgemeines zur Natur der Elemente

Jedes bekannte Element, auch Nuklid genannt, besitzt neben einer Elektronenhülle einen Atomkern mit einer ihn definierenden Anzahl an Protonen, auch Ordnungszahl genannt. Des Weiteren beschreibt die Massenzahl die Anzahl aller Protonen und Neutronen in seinem Kern. Da Nuklide auch mehrere Arten von Atomen besitzen, die sich in ihrer Massenzahl unterscheiden, das bedeutet gleichbleibende Protonenzahl bei unterschiedlicher Neutronenzahl, wird für diese der Begriff Isotope eines natürlichen Nuklids gebraucht. Isotope verhalten sich in natürlichen Kreisläufen in unterschiedlicher Art und Weise und wir ordnen sie aufgrund unterschiedlicher Verhaltensweisen. Als radiogene Isotope bezeichnen wir Isotope, die einem Zerfall ihres Atomkerns durch Ungleichgewicht ihrer Energiebilanz unterworfen sind, während stabile Isotope keinem Zerfall ihres Kerns unterworfen sind. Des Weiteren gehe ich auf stabile Isotope speziell auf Sauerstoff- und Kohlenstoffisotope ein.

8.1.2 Isotopeneffekte und Fraktionierungsprozesse

Wie bereits erwähnt unterscheiden sich Isotope durch unterschiedliche Massenzahlen, also einer unterschiedlichen Anzahl an Teilchen. Dieser Unterschied drückt sich in einer unterschiedlichen Masse(Gewichtseinheit) des jeweiligen Isotops aus und hat grundlegende Bedeutung im Verhalten der Isotope zu einander und wird durch die Theorie der Quantenmechanik erklärt.

„Unter Isotopenfraktionierung verstehen wir die Partitionierung von Isotopen zwischen zwei Substanzen oder Phasen mit unterschiedlichen Isotopen Verhältnissen.“ (Hoefs e.q. 2010, S.5)

Zwei Fraktionierungsprozesse die hauptsächlich durch Isotopeneffekte erzeugt werden sind:

- Isotopenaustauschreaktionen oder gleichgewichtsgesteuerte Isotopen Verteilung
- Kinetische Prozesse die grundsätzlich von unterschiedliche Reaktionsraten isotopischer Moleküle abhängen (Hoefs e.q. 2010).

8.1.3 Berechnung, Notation und Standards

International üblich ist die **Delta-Notation** nach der einfachen Formel:

$$\delta_A = \left(\frac{R_A}{R_{st}} - 1 \right) * 10^3 \quad \text{Formel (1)}$$

δ_A ... Delta Wert

R_A ... Repräsentatives gemessenes Isotopenverhältnis

R_{st} ... Definiertes Isotopenverhältnis eines Standards

Als intern benutzter Standard wird für Sauerstoff ^{18}O und Kohlenstoff ^{13}C NBS-19 angewendet und für den internationalen Vergleich nach $\delta^{18}\text{O}$ (VPDB) umgerechnet, dem Vienna Pee Dee Belemnite Standard. Als zweiter hier nicht angewendeter Standard soll noch der VSMOW erwähnt werden, der Vienna Standard Mean Ocean Water Standard.

Berechnung der **Meerwassertemperatur** aus $\delta^{18}\text{O}$ -Werte als Proxy.

$$T^{\circ}\text{C} = 16,5 - 4,3(\delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_w) + 0,14(\delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_w)^2 \quad (\text{Epstein et al. 1950}) \quad \text{Formel (2)}$$

$\delta^{18}\text{O}_c$ O-Isotope des CO_2

$\delta^{18}\text{O}_w$ O-Isotope des CO_2 im Gleichgewicht
mit Wasser bei 25°C

8.1.4 Die Geochemie von Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopen

-) Sauerstoff

Von den drei bekannten Sauerstoffisotopen ^{18}O , ^{17}O und ^{16}O werden aufgrund ihrer Häufigkeit nur ^{18}O und ^{16}O als Verhältnis $\delta^{18}\text{O}$ gemessen.

-) Kohlenstoff

Die drei bekannten Isotope ^{14}C , ^{13}C und ^{12}C werden unterschiedlich genutzt. ^{14}C ist radiogen und wird durch Zerfallsreihen zur Altersbestimmung genutzt. Die beiden stabilen Isotope ^{13}C und ^{12}C werden als Verhältnis $\delta^{13}\text{C}$ gemessen (vgl. Hoefs e.q. 2010).

8.2 Technische Ausstattung und Analyse

Zur technischen Analyse kam ein Massenspektrometer des Typs Finnigan Mat 251 in Kombination mit einem Kiel II Carbonat Device zur Anwendung. Zur Funktionsweise der Analyse: Die Auflösung der Probe unter Vakuum bei einer konstanten Temperatur von 70°C mit Orthophosphorsäure ist der erste Schritt. Die gewonnenen Gase CO_2 und H_2O frieren bei -150°C und wechseln den Aggregatzustand und ermöglichen es nun, die restlichen Gase abzupumpen. Im nächsten Schritt gefriert in einem weiteren Kühlvorgang bei -30°C H_2O , mit anschließender Separation des CO_2 durch abpumpen. Dessen Analyse erfolgt durch das Massenspektrometer. Die Auflösung der Proben und die anschließende Analyse erfolgt mit einer konstanten Temperatur, weil die Isotopenfraktionierung temperaturabhängig ist. Die Lösung des Karbonats bei einer

Temperatur von 70°C erlaubt einen Vergleich der Ergebnisse zwischen den Laboren die mit einem Kiel II Carbonat Device arbeiten. Die meisten anderen Labore benutzen ein Gas Bench System, das mit 90°C arbeitet.

9. Ergebnisse

9.1 Zur Probennahme und Qualität der Proben

Die Probennahme und Bearbeitung fand unter der wissenschaftlichen Leitung von Leopold Krystyn und studentischen Mitarbeitern in einem Zeitraum von vier Jahren statt. Das erstellte stratigraphische Profil beinhaltet dessen Ergebnisse.

Der erste Aufnahmezeitpunkt aus dem Jahr 2009 erbrachte die Profile LL2 und LL3. Sie stellen nach chronostratigraphischer Auswertung den Zeitabschnitt Rhätium 2 und 3 dar. Die Beprobung fand nicht unter dem Gesichtspunkt einer späteren chemostratigraphischen Untersuchung statt, woraus sich die Komplikation ergab Gesteinsmaterial mit starken Verwitterungsspuren und keiner Zyklizität der Proben zu erhalten. D.h. dass nur einzelne Bänke in unterschiedlichen Abständen beprobt wurden, und die Qualität der Gesteine eine ungenügende Auswertung zuließen. Es folgten 2010 mit den Profilen LL4, LL5 und LL6 Abschnitte, die die Grenze Norium/Rhätium darstellen und Abschnitte des jüngeren Noriums mit Probenmaterial von hoher Qualität und einer hervorragenden Regelmäßigkeit. Aus dem Jahr 2011 stammen drei Profile mit den Bezeichnungen LL0, LL7 und LL8, die nach Auswertung den Zeitabschnitt Lacium bis Sevatum darstellen. Die Bearbeitung 2012 ergab eine Ergänzung der bestehenden Profile LL8 und eine Neuaufnahme mit dem Profil LL9. Die Probennahmen fanden unter dem Aspekt einer multistratigraphischen Untersuchung statt, für Biostratigraphie, Lithostratigraphie, Chemostratigraphie und Paläomagnetik, einhergehend mit einer Vermessung des Geländes. Für die chemostratigraphische Untersuchung wurden rund 180 Proben gesammelt und in einem Abstand von 20cm bzw. 50cm geprobt. Die zur Erstellung eines Gesamtprofils benutzten Einzelprofile und Teile davon sind in Abb. 18 enthalten.

9.2 Zur Fazies des Leislingkogels

Zunächst haben wir mit dem **Massigen Hellkalk** (Abb. 12) eine Fazies, die in sehr unregelmäßiger Mächtigkeiten in Erscheinung tritt und selten Bänke als solche ausbildet; ein Hauptmerkmal dieser Fazies. Farblich tritt dieser hier in einem Hellgrauen Farbton in einer sehr gleichmässigen, mikritischen Matrix auf, die die ganze Erscheinungform des

Hellkalks einnimmt. Eine nähere Untersuchung der Fazies unter dem Mikroskop fand nicht statt. Somit kann keine Aussage über den Fossilgehalt getroffen werden. Die darauf folgenden **Hangendrotkalke** (Abb. 13) treten in ihrer typisch roten Farbe auf und bilden die bestimmende Fazies des untersuchten Abschnitts, die bis an die chronostratigraphisch ermittelte Norium/Rhätium-Grenze reicht. Das rote, biomikritische Gefüge weist an manchen Bänken Bioturbation auf, auch sind an manchen Bänken mit Ammoniten und Heterostridien augenscheinlich Fossilien anzutreffen. Jedoch ist dieser Kalk überwiegend fossilienarm und zeichnet sich durch keine weiteren, erwähnungswerten Eigenschaften aus. Der hier für das Rhätium kennzeichnende **Hangendgraukalk** (Abb. 14) der mit den **Zlambachmergeln** (Abb. 15) in einer „Transition Zone“ auftritt, ist eine mergelige Varietät des Hangendrotkalk. Heterostridien und Ammoniten als Fossilien konnten hier gefunden werden (Flügel et al. 1972). Alle Faziestypen sind sehr fossilarm und durch hohen mikritischen Matrixanteil gekennzeichnet. Eine Einteilung der Karbonatgesteine nach Dunham (Dunham et al. 1962) würde für diese Profile im überwiegenden Teil Wackestone mit wechselndem Anteil von Bioklasten bestehend aus Filamenten, Crinoiden und Ammonideen ergeben. Hier muss hervorgehoben werden, dass das Gesteinsmaterial besonders gut erhalten ist, also sehr geringe Verwitterungsspuren und auch noch eine besonders feinkörnige gleichmäßige kalzitische Matrix besitzt. Beides sind gute Bedingungen für spätere chemostratigraphische Analysen im Labor (Tucker 2008, Nicols 2011). Die Faziesbestimmung wurde als Lithostratigraphie der Abbildung 18 zugefügt.



Abbildung 12: massiger Hellkalk



Abbildung 13: Hangendrotkalk



Abbildung 14: Hangendgraukalk



Abbildung 15: Zlambachmergel aus dem Kleinen Zlambachgraben

Zusammenfassend, in Bezugnahme zu Abbildung 18, unterscheide ich vier Lithologien. Beginnend mit der Basis erscheint der Massige Hellkalk zuerst. Er wechselt bereits kurz nach erscheinen im Profil in den Hangendrotkalk und an der Norium/Rhätium-Grenze in den Hangend Graukalk. Die im Rhätium anzutreffenden Zlambachmergel sind in einer „Transition Zone“ in Wechsellagerung mit Hangendgraukalk anzutreffen.

9.3 Zur Bio- und Conodontenstratigraphie des Leislingkogels

Biochronologie des Norium und Rhätium

Die Biochronologie der oberen Trias basiert auf *Ammonoideen*, daneben sind pelagische Bivalven (*Halobia*, *Monotis*) wichtig und im höheren Norium die planktonische Hydrozoe *Heterastridium*. Alle genannten Fossilgruppen sind in wechselnder Häufigkeit im untersuchten Profil vertreten.

Ammoniten

Sie sind wichtig als Zonenleitfossilien, und treten nur punktuell auf, aber können in fast allen Zonen durch leitende Formen im Profil nachgewiesen werden (A1: *Didymites*, A2: *Himavatites*, *Parathisbites*, A3: *Halorite*, *Steinmannites*, S: R1: *Paracochloceras*, R2: *Cycloceltites*, R3: *Choristoceras*).

Pelagische Bivalven

Sie treten in vielen Bänken des norischen Profilanteils als mikroskopischer Biogenanteil in Dünnschliffen auf und werden da als Filamente bezeichnet. Makrofunde – *Halobia* cf. *norica* Mojsisovics im Alaunium 2 und *Monotis salinaria* Bronn im oberen Sevatium – sind vergleichsweise selten.

Conodonten

Neben den Ammoniten besitzen die Conodonten, bis zu ihrem Aussterben am Ende der Trias, einen hohen stratigraphischen Wert. Ein weiterer Vorteil der Conodonten ist – wie bei anderen Mikrofossilien – die kontinuierliche Gewinnbarkeit. Bei der stratigraphischen Einstufung des Profils stütze ich mich auf Verbreitungsangaben in Krystyn et al. 2009 (siehe Abb. 3), die auf Untersuchungen in den alpinen Hallstätterkalken beruhen. *Epigondolella* cf. *multidendata* und *Epigondolella postera* sind hier allerdings in offener Nomenklatur als sp. 1 und sp. 2 benannt, da sie offensichtlich neu zu beschreibende Arten darstellen. Die Auswertung der Conodontenfunde wurde von Leopold Krystyn durchgeführt und die Ergebnisse übernommen.

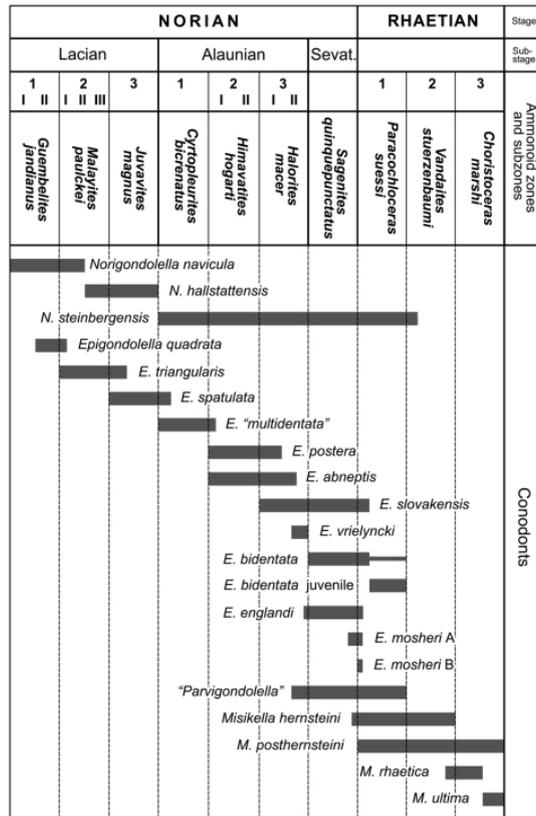


Abbildung 16: Ammonitenzonierung der Trias gegen die Conodontenzonen (Krystyn et al. 2009)



Abbildung 17: Beispiel eines Ammonit im Hangend Rotkalk (Foto: Christian Fleis)

9.4 Datenauswertung Profil

Ergänzung Scheiblkogel

Mit den Profilen des Leislingkogels und mit Ergänzungen durch Arbeiten am Scheiblkogel (Krystyn, unpubl.) ergaben diese ein durchgängiges Profil vom unteren Laciun bis ins mittlere Rhätium. Lithologisch schließt der östlich im Streichen ca. 3km entfernt gelegene Scheiblkogel am Profil LL6 (unterstes Rhät 1) des Leislingkogels an und bildet einen sedimentären Übergang ins folgende Profil LL2 des Leislingkogels. Dieses Profil steht zwischen Hangendrotkalk im Liegenden und Zlambachmergel im Hangenden, und besteht aus knolligen Kalken mit Mergellagen, die der Transition Zone des Leislingkogels entsprechen. Die Reichweite der Ablagerungen des Scheiblkogels betragen ca. 15-20 Ma mit einer Unsicherheit von 10 Ma bezüglich der wahren Norium/Rhätium-Grenze.

Profil Leislingkogel bei Bad Goisern, Gasamtmächtigkeit 59m

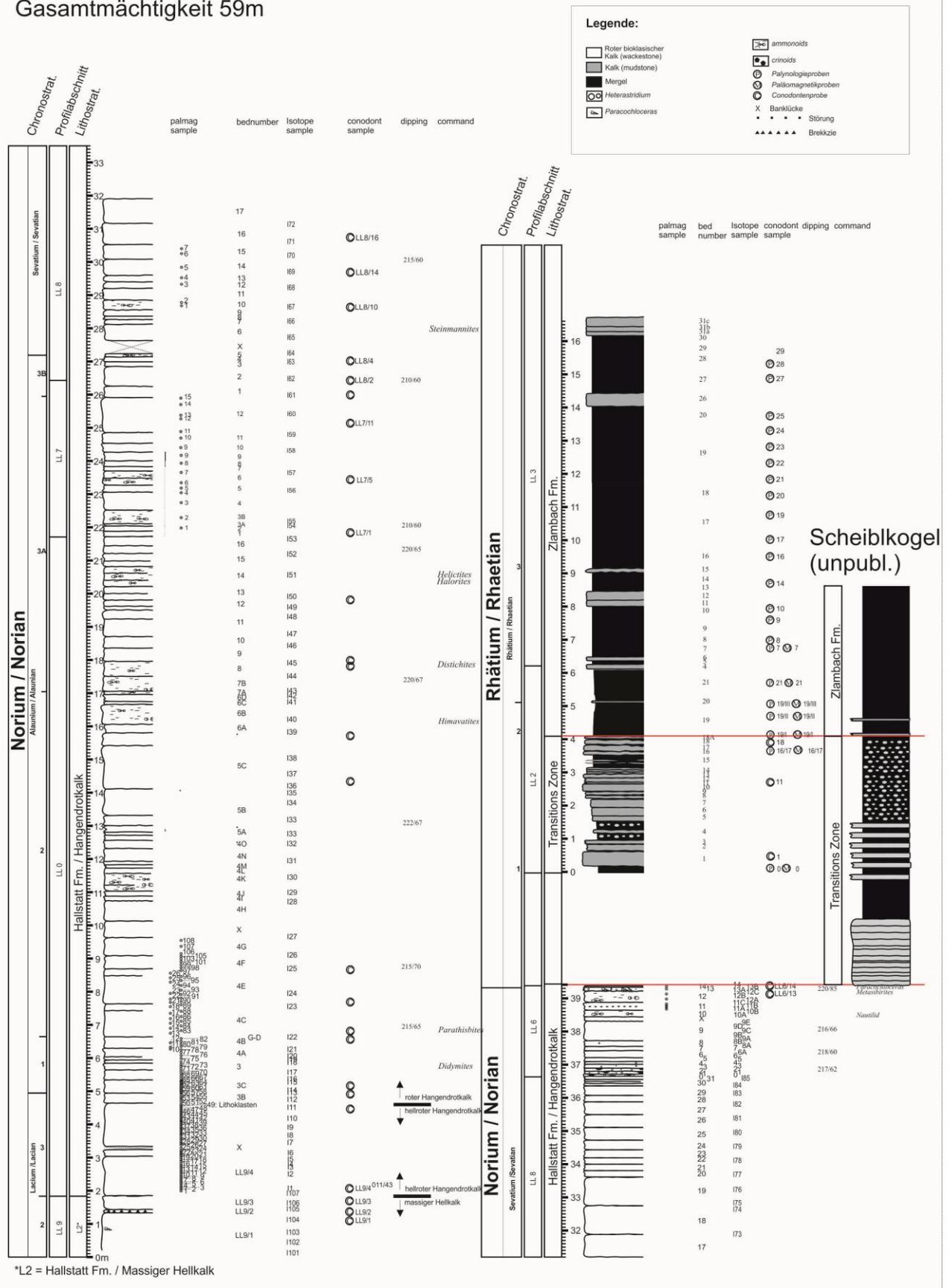


Abbildung 18: Profil Leislingkogel

9.5 Zur Auswertung der Ergebnisse aus der Isotopenanalyse

Die Auswertung der in der Laboranalyse gewonnenen Daten wurde mittels PC und dem Programm Excel durchgeführt. Die zugrundeliegenden Berechnungen erfolgten nach den, in Kapitel 8.1.3 beschriebenen Formeln und wurden lediglich in ein in Excel anwendbares Format umgeschrieben. Die in der Auswertung ermittelten Daten liegen als Tabelle in der Anlage A Seite 68 im Anhang bereit.

9.6 Ergebnisse der Isotopenanalyse

Die in Abbildung 19 gezeigte Auswertung der Isotopenanalyse aus den Proben des Leislingkogels basiert zu Teilen aus meinem erstellten Profil und Untersuchungsergebnissen von Leopold Krystyn und Sylvain Richoz (Profil Scheiblkogel und Profil Steinbergkogel B+C)(Krystyn et al. 2007). Die Ergänzung des fehlenden Abschnitts im Rhätium 1 mit diesen Profilen (Steinbergkogel und Scheiblkogel) ergibt einen fast vollständigen Isotopieverlauf des Noriums bis ins Mittlere Rhätium. Vergleiche Abbildung 19.

9.6.1 Entwicklung im Laciium

Die Ergebnisse der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte mit Beginn des Laciiums 2 bis ins Alaunium 1 zeigen eine kontinuierliche, geradlinige Entwicklung der Kohlenstoffisotope, die keine Ausschläge über $\pm 0,2\text{‰}$ erkennen lassen. Auch zeigt die $\delta^{18}\text{O}$ Isotopie des Laciiums einen kontinuierlichen sich nicht ändernden Kurvenverlauf. Für diesen Abschnitt ist eine Kondensationsentwicklung der Sedimentablagerung bekannt. Eine ermittelte mittlere Meerwassertemperatur von $16,1^\circ\text{C}$ für das Laciium zeigt keine Veränderungen im Temperaturverlauf. Das Laciium zeigt damit keine Veränderungen in den Isotopen und der Meerestemperatur.

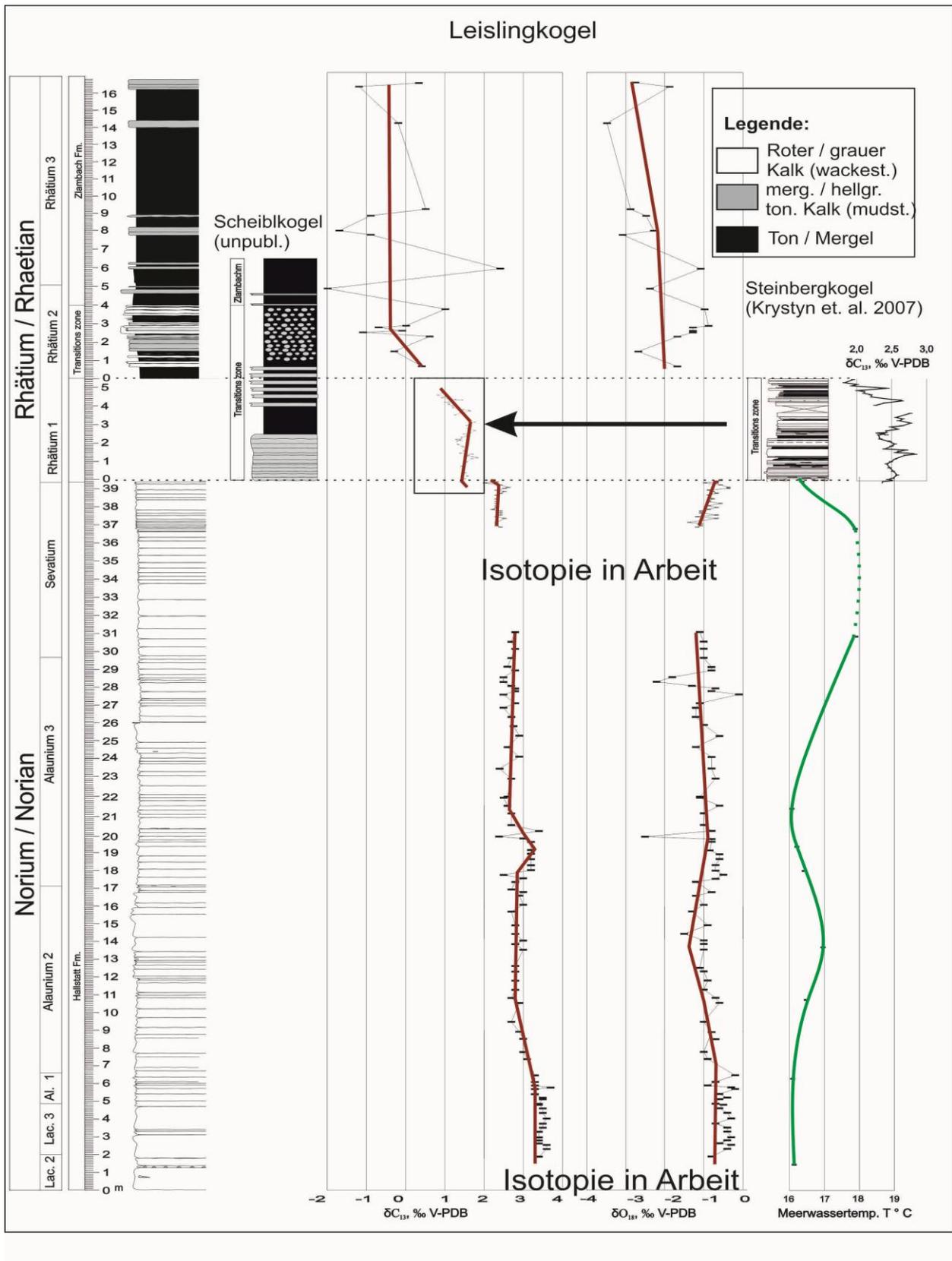


Abbildung 19: Meerwassertemperatur, $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$ Isotopie des Leislingkogels, ergänzt durch Steinbergkogel

9.6.2 Entwicklung im Alaunium

Mit Beginn des Alauniums setzt eine Abnahme der $\delta^{13}\text{C}$ Werte von 3,4 ‰ bis 2,8‰ bis ins Mittlere Alaunium 2 ein, in dessen Folge bis zum Ende des Alauniums 2 keine weitere Abnahme oder Zunahme zu erkennen ist. Die $\delta^{13}\text{C}$ Werte bleiben im Rahmen von 2,8 bis 3,1‰. Für die Entwicklung der $\delta^{18}\text{O}$ Isotopie, die mit -0,8‰ beginnt, setzt sich die Abnahme im Mittleren Alaunium 2 fort und endet hier erst mit Ende des Alauniums 2 bei -1,4‰, anders als bei der $\delta^{13}\text{C}$ Isotopie beobachtbar. Im Weiteren Verlauf können starke Ausschläge in der Isotopie vom beginnenden bis Mittleren Alaun 3 beobachtet werden, dabei sind Schwankungen der Isotopie in einem Bereich von 2,4 bis 3,4 ‰ erkennbar. Selbige Beobachtungen sind auch in der $\delta^{18}\text{O}$ Isotopie erkennbar mit Schwankungen von -1,4 bis -1‰. Jedoch kann hier wieder eine Zunahme der Isotopie verzeichnet werden, die bis zum Mittleren Alaunium 3 anhält. Ab dem Mittleren Alaun 3 fallen die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte auf 2,5‰, zeigen aber ebenfalls einen Verlauf mit starken Ausschlägen von Werten von 2,4 bis 2,9‰.

Zwei markante Peaks, wie in Abb. 20 hervorgehoben, sind beobachtbar. Der Erste zeigt sich im Mittleren Alaun 3 bei 18m und betrifft sowohl die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte als auch die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte. Für die Meerwassertemperatur wird mit Beginn des Alauniums eine Temperaturerhöhung von 16,1° C auf 16,9° C zum oberen Alaunium 2 hin errechnet, die sich weiters bis ins Mittlere Alaunium 3 auf ihren ursprünglichen Wert von 16,1°C wieder absenkt. Dieser Temperaturtiefststand korreliert mit dem beschriebenen Peak 1, der in einem diagenetischen Prozess, oder auch analysebedingten Artefakt seinen Ursprung findet. Die markanten Ausschläge sind bemerkenswert deutlich und sollten bei zukünftigen Untersuchungen näher betrachtet werden. Der zweite Peak ist bei 26m nur in den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten zu erkennen, nicht jedoch in den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten. Auch die zunehmende Meerwassertemperatur auf 17,5°C kann hier in keinen Zusammenhang gebracht werden. Daher könnte man vielleicht ein diagenetisch bedingtes Ereignis in Betracht ziehen, sonst entzieht sich diese Beobachtung weiteren Aussagen über ihren Ursprung.

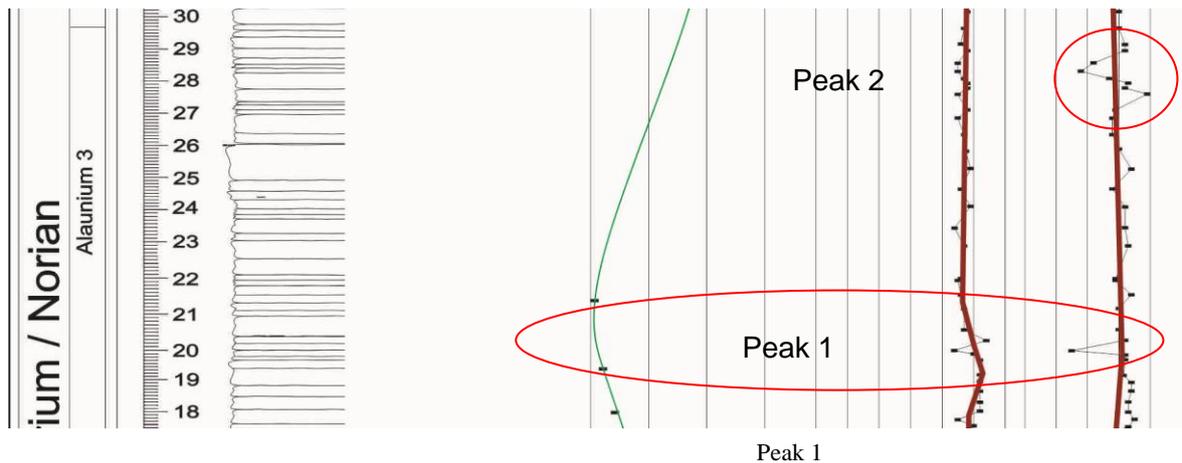


Abbildung 20: Ausschnitt vergrößert Alaun (Nach Heilig Ph.)

9.6.3 Entwicklung im Sevatium

Im Oberen Alaunium 3 bis Sevatium kann wieder ein Abstieg der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von 2,9 auf 2,6‰ registriert werden, der sich zum Ende des Noriums hin, ohne Änderung der Isotopie, fortsetzt. Für die $\delta^{18}\text{O}$ Isotopie ist mit mittleren Sevatium zur Norium/Rhätiumgrenze ein Isotopieanstieg von -1,2 auf -0,8 in sehr kurzer Zeit zu verzeichnen und korreliert nicht mit der $\delta^{13}\text{C}$ Isotopie. Für die Meerwassertemperatur wird eine Entwicklung errechnet die sich in einen weiteren Anstieg, wie er bereits im Alaunium 3 einsetzt, fortsetzt. Mit der höchsten Temperatur im Norium von $18,2^\circ\text{C}$ setzt hier nun ein rascher Temperaturabfall auf $16,4^\circ\text{C}$ ein, der das obere Sevatium betrifft. Für das mittlere Sevatium wird die Isotopie gerade bearbeitet und die Temperaturkurve wurde durch Interpolation der Daten errechnet.

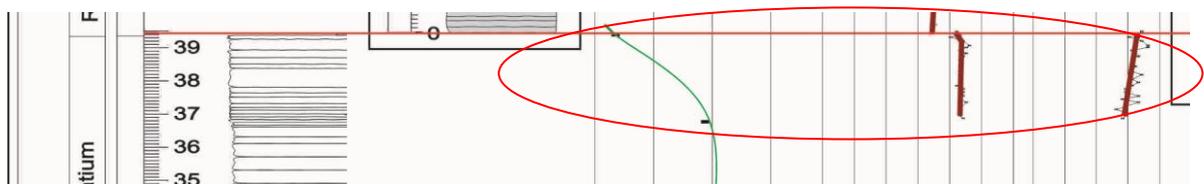


Abbildung 21: Isotopie des Sevatium

9.6.4 Norium/Rhätium Grenze und Interzeptions Zone

An der Norium/Rhätiumgrenze kann eine geringfügige Isotopieabnahme von 0,3‰ der $\delta^{13}\text{C}$ Isotopie festgestellt werden, die mit einer fortsetzenden Zunahme der $\delta^{18}\text{O}$ Isotopie

einhergeht, damit sind zwei gegenläufige Entwicklungen festzustellen, die sich jedoch kurz nach der Grenze nicht mehr fortsetzen. Auch die Entwicklung der Meerwassertemperatur kann hier nicht mehr errechnet werden. Die Interzeptionszone im Profil fand für die $\delta^{13}\text{C}$ Isotopie mit Arbeiten am Steinbergkogel ihre Ergänzung (Krystyn et al. 2007) und die Komplettierung der unterbrochen Abfolge der Sedimententwicklung des Leislingkogels erfolgte durch Ergebnisse des Scheiblkogels (Krystyn, unpubl.). Es lässt sich hier eindeutig eine Abnahme der $\delta^{13}\text{C}$ Isotopie erkennen, die ihre Fortsetzung in der Isotopie des Leislingkogels findet. Vergleiche Abbildung 22. Ein Shift direkt an der Noriumgrenze von 0,8‰ in der $\delta^{13}\text{C}$ Isotopie resultiert aus dem Vergleich zweier Profile.

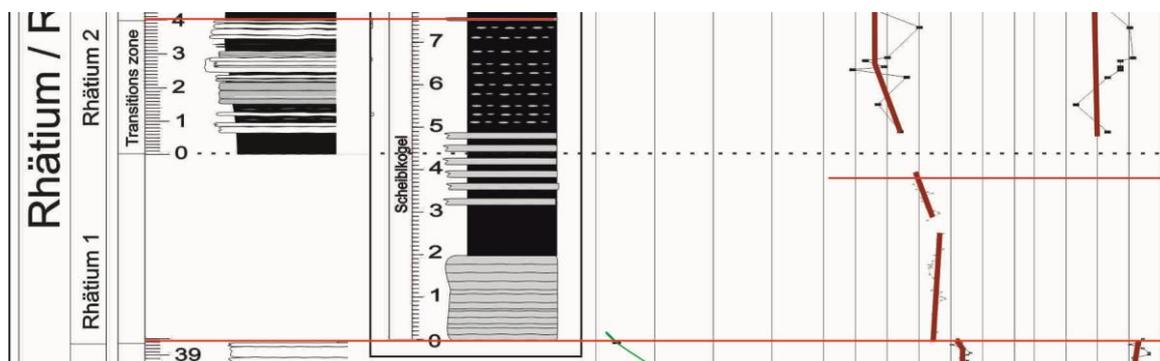


Abbildung 22: Ausschnitt vergrößert Norium/Rhätiumgrenze (Nach Heilig Ph.)

9.6.5 Entwicklung im Rhätium

Im Abschnitt des Rhätiums findet eine weitere Abnahme der $\delta^{13}\text{C}$ Isotopie statt die bei 0,5‰ ihren höchsten Wert findet und bis zum Ende des Rhätium 3 auf diesen Wert verharrt. Für die $\delta^{18}\text{O}$ Isotopie kann ein Durchschnittswert ermittelt werden der einen Trend zu Abnahme der Isotopie von 0,9‰ vom Rhätium 2 bis Rhätium 3 zeigt. Aufgrund der schlechten Beprobung sind die Werte mit großen Ausschlägen behaftet und daher bedingt aussagekräftig. Solche Ergebnissen finden sich auch in anderen Arbeiten (Williford et al 2006; Mette et al. 2012).

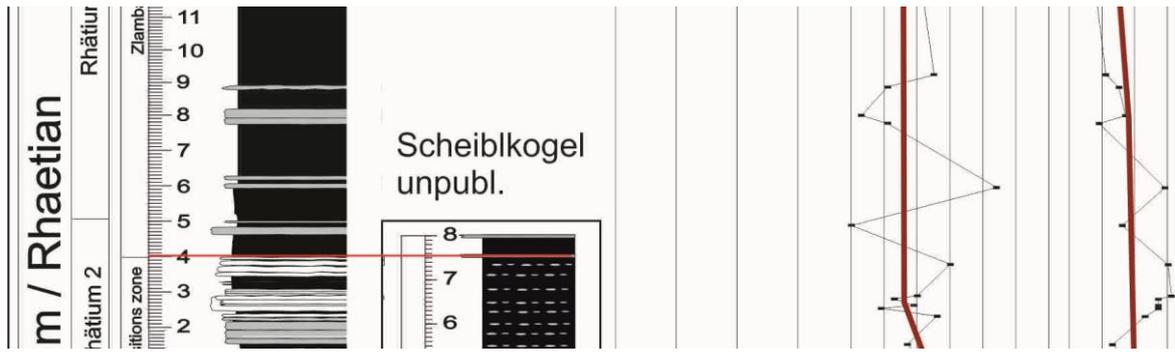


Abbildung 23: Isotopieentwicklung im Rhätium

10. Schlüsse aus den Untersuchungen

10.1 Grad der diagenetischen Alteration

Die in Abb. 24 dargestellten Messergebnisse sind hier in zwei Gruppen zu unterscheiden. Die Ergebnisse, die im Bereich von 2,0 bis 3,0‰ der $\delta^{13}\text{C}$ Isotopenwerte eine Häufung zeigen, können zur Gänze den Proben aus dem Zeitabschnitt Norium zugeordnet werden. Die Ergebnisse im Bereich von -3,0 bis 2,0‰ der $\delta^{13}\text{C}$ Isotopenwerte, können dem Zeitabschnitt Rhätium zugeordnet werden.

Die möglichen als Diagenese erkennbaren Entwicklungen in Abbildung 25 ziehen ihren Ursprung aus einer Vielzahl an Ursachen: Upwelling mariner Strömung im Zuge von organischem Detritusinput, Überprägungen der alpinen Orogenese, Einwirkung meteorischer Wässer, und Dolomitisierung. Die Tiefenentwicklung der Sedimente schließt meteorische Wässer weitgehend aus. Eine Dolomitisierung kann ebenfalls nicht nachgewiesen werden. Upwelling und orogene Überprägungen sind hier als wahrscheinlicher anzunehmen, lassen sich jedoch nicht nachweisen oder ausschließen.

Die dargestellten Ergebnisse des Noriums zeigen einen Bereich mit geringer Streuung sowohl der $\delta^{13}\text{C}$ als auch der $\delta^{18}\text{O}$ Isotopenwerte. Es ist kein Trend in der Isotopieveränderung erkennbar, der auf diagenetische Veränderungen schließen lässt.

Anders verhält es sich mit der zweiten Gruppe des Rhätiums. Diese zeigt einen weiten Bereich mit großer Streuung. Die Werte liegen jedoch weit auseinander und die vorliegenden $\delta^{13}\text{C}/\delta^{18}\text{O}$ Isotopenwerte lassen keinen eindeutigen Trend erkennen. Drei Ergebnisse unterhalb -1‰ lassen vorsichtig einen Trend beobachten, aber aufgrund der Datenmenge ist diese Annahme spekulativ. Für beide Gruppen ist mit einer geringen Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass ein Einfluss von diagenetischen Prozessen eine Rolle gespielt hat. Inwieweit die Minimumtemperatur zum Einsetzen von Diageneseprozessen hier erreicht wurde, kann der CAI durch Conodonten Auskunft geben. Der CAI der Conodonten unterstützt diese Annahme, den mit der Stufen 1 können nur 70°C für das ganze Norium festgestellt werden.

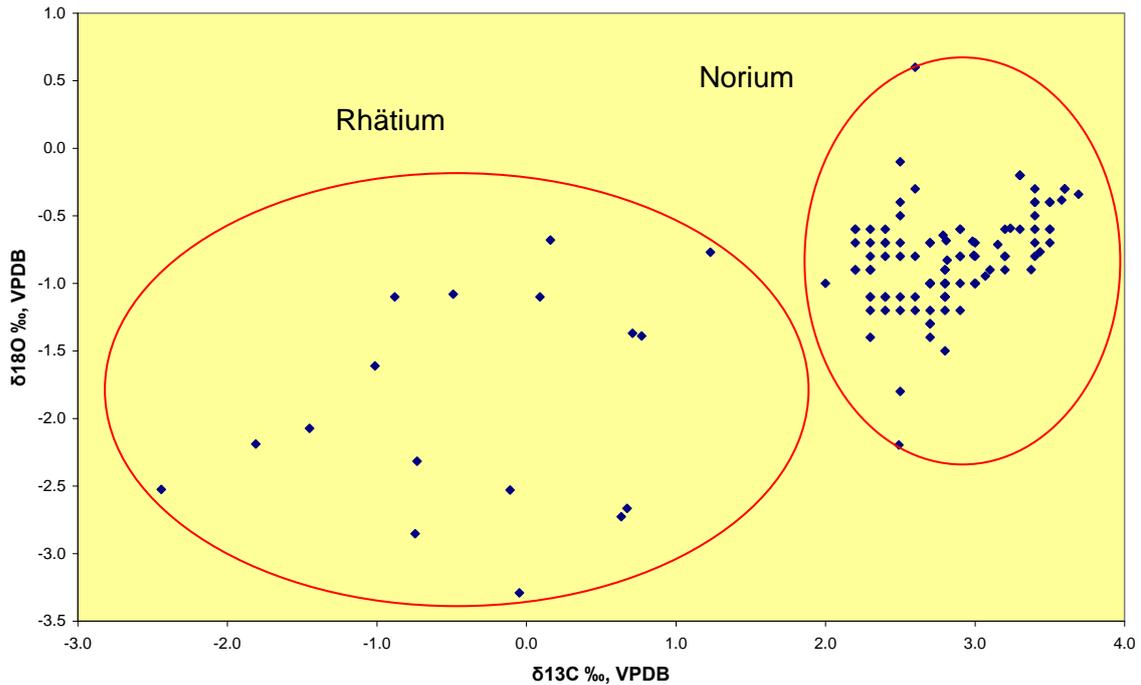


Abbildung 24: $\delta^{13}\text{C}/\delta^{18}\text{O}$ Diagenese Trends

10.2 Diskussion

$\delta^{13}\text{C}$ Isotopie

Die Isotopieentwicklung des Lacioms zeigt sich in einer konstanten geringzyklischen Entwicklung mit einem mittleren Wert von 3,5‰ für die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte, die mit geringen Sedimentationsraten mit einer Kondensationsentwicklung in Verbindung steht. Drei Punkte stehen mit der folgenden Isotopieabnahme in Verbindung. (1) Die Isotopie alleine betrachtet, steht möglicherweise mit einem Entwässerungsprozess der Sedimente infolge eines einsetzenden diagenetischen Prozesses in Verbindung. (2) Eine zunehmende Sedimentationsrate ab dem Alaunium und letztlich (3) ein Wechsel von einem wärmeren zu einem kälteren Abschnitt in der Meerwassertemperatur (Richo et al. 2012), was am Ende der Isotopieabnahme wieder zu einem wärmeren Abschnitt führt (Krystyn, mündlich Kommun.). Es zeigt sich ein Anstieg der Meerwassertemperatur um 1°C vom unteren Alaunium 1 bis ins Alaunium 2 und einem anschließenden Rückfall auf 16,1°C, der sich einer eindeutigen Erklärung entzieht.

Der Entwicklung der Meerwassertemperatur folgend, lässt sich ein Peak im Alaunium 3 beobachten - im Gegensatz zur vorherigen Beobachtung lässt sich ein Zusammenhang

mit der $\delta^{13}\text{C}$ Isotopie vermuten - gefolgt von einer plötzlichen Zunahme der $\delta^{13}\text{C}$ Isotopie die nach kurzer Verweilzeit wieder auf den ursprünglichen Wert abfällt. Die Ergebnisse der $\delta^{13}\text{C}$ Isotope im Sevatium sind unvollständig, lassen aber einen negativen Ausschlag zur Norium/Rhätium-Grenze erkennen und feststellen. Für diesen Zeitabschnitt kennen wir wieder eine Kondensationsentwicklung der Sedimente, die hier jedoch mit einer abnehmenden Isotopie in $\delta^{13}\text{C}$ -Werten in Verbindung steht. Ein Vergleich mit dem Abschnitt des Lacioms, der ebenfalls einer Kondensationsentwicklung unterliegt, könnte den Schluss nahelegen, dass es sich eher um eine primäre Produktionsentwicklung der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte handelt als um einen Einfluss durch die sedimentäre Kondensationsentwicklung. Der Übergang des Noriums in das Rhätium startet mit einem Anstieg in der $\delta^{13}\text{C}$ Isotopie gegenüber einer Abnahme der $\delta^{18}\text{O}$ Isotopie. Die Abnahme beider Isotopen ab dem Rhätium 1 entzieht sich der weiten Erklärung, aufgrund fehlender Daten. Ergebnisse des Steinbergkogels ergänzen diese Lücken, die die weitere Abnahme der Isotopie gut zeigen.

$\delta^{18}\text{O}$ Isotopie

Mit 0,8‰ beginnt hier eine anhaltende, konstante Entwicklung im Ladium, die in eine Abnahme auf -1,4‰ bis ins Alaunium 2 übergeht, auf -1‰ wieder zunimmt und sich stabil in eine kontinuierliche Entwicklung bis Ende des Noriums fortsetzt. Erst im Oberen Sevatium über die Norium/Rhätium-Grenze kann eine kurze, starke Zunahme der Isotopie mit 0,5‰ verzeichnet werden. Am Ende des Alaunium 3 zeigt sich ein Peak als einziges markantes Ereignis. Er entzieht sich aber der Erklärung seines Ursprungs.

Zusammenfassend zeigt die Abnahme beider Isotopen über das Norium keine besonderen Auffälligkeiten trotz starker Veränderungen der Meerestemperatur. Wenn man die Eingangs mögliche Diageneseentwicklung ausschließt, die keinen nennenswerten Trend erkennen lässt, liegt der Schluss nahe andere Ursachen als Einzelereignisse zu suchen, um die Veränderungen des Noriums zu erklären. Ein Zusammenhang der $\delta^{13}\text{C}$ Isotopie mit der organismischen Entwicklung der Meeresfauna ist nicht erkennbar und scheint davon abgekoppelt zu sein.

10.3 Vergleich mit anderen Arbeiten

Die Isotopenkurven in den Arbeiten von Muttoni G. über die westliche Neotethys am Pizzo Mondello zeigen konstante $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von 1,5‰ zur Norium/Rhätium-Grenze hin (Muttoni et al. 2001, Muttoni et al. 2004). Auch in anderen Gebieten der westlichen Neotethys, wie Türkei, Oman, Steinbergkogel (Krystyn, 2007) zeigen die vorläufigen Ergebnisse im Langzeittrend keine signifikanten Änderungen in der $\delta^{13}\text{C}$ Entwicklung.

Ergebnisse aus dem Panthalassa Ozean, publiziert von Peter D. Ward et al. (Ward et al. 2004) aus Queen Charlotte Island (Kennecott Point, British Columbia, Kanada) zeigen jedoch eine andere diagenetisch beeinflusste $\delta^{13}\text{C}$ Entwicklung. Es fanden sich auch keine signifikanten Änderungen in der Isotopie an der Norium/Rhätium-Grenze, die einen Hinweis auf Änderungen in der Faunenzusammensetzung geben. Der negative Ausschlag gegen Ende des Noriums wird von mehreren Autorinnen und Autoren (Sephton et al. 2002, Whiteside et al. 2011, Mette et al. 2012, Richoz et al. 2012b) in ihren Arbeiten beobachtet und unterschiedlich bewertet. Ein Zusammenhang mit der am Ende der Trias auftretenden CAMP (Marzoli et al. 2004), begleitet von einem negativen Ausschlag und abhängig welche Datierung man heranzieht, stellt eine viel diskutierte These dar. Jedoch liefern die dafür aussagekräftigen Datierungen mit Rhenium und Osmium (Sephton et al. 2002, Williford et al. 2006) keine Ergebnisse, die einen magmatischen Ursprung unterstützten. Weiters bieten sich etwa zeitnahe extraterrestrischen Events (Sephton et al. 2002) wie der in Quebec lokalisierte Manicouagan impact crater als Erklärungsmodelle an. Dagegen sprechen aber zwei Gründe. (1) Dieser Krater ist zu alt (214+1Ma) um zeitlich hier eine Rolle gespielt zu haben. (2) Untersuchungen der Biostratigraphie ergaben keine Einschnitte in der Organismenentwicklung die mit dem Impact in Verbindung stehen. Auch die Möglichkeit von Methanausgasungen wurde angesprochen (Ward et al. 2004) und wieder verworfen. Mögliche Wasserstoffsulfid Entgasungen (Richoz et al. 2012a) stehen mit anoxischen Events in Verbindung und können für das Rhätium beobachtet werden. In Arbeiten am Eibergkogel (Mette et al. 2012) im Norium zeigen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte eine stetige Abnahme der bis über die Norium/Rhätium-Grenze und eine rapiden Abnahme im Rhätium, die mit einer Abnahme der Brachiopoden- und Ostracodenfauna in Verbindung stehen. Das beobachtet auch Jessica H. Whiteside (Whiteside et al. 2011) schon bei Ammoniten. Besonders die Entwicklung der Meerwasserchemie, insbesondere der Meerwassertemperatur, muss Berücksichtigung finden, um die Ereignisse um die Ereignisse um die Norium/Rhätium-Grenze besser zu verstehen.

Die Entwicklung der Meerwassertemperatur beginnt bei 16°C und zeigt bei meiner Arbeit eine Zunahme von max. 2°C vom Unteren Norium bis zur Norium/Rhätium-Grenze. Am Ende des Noriums fällt sie rasch auf 16°C zurück. Wie bereits bei Krystyn (Krystyn et al. 2007) gezeigt, können wir eine Unterentwicklung tropischer Faunenelemente für das Alaunium feststellen, die eine Änderung hin zur tropisch dominanteren Phase ab dem Sevatium bis zur Norium/Rhätium-Grenze, erkennen lässt. Für das Ladium, das ebenfalls einer tropischen dominanteren Phase entspricht, kann keine Übereinstimmung gefunden werden. Vergleiche Abbildung 19. Die rapide Temperaturabnahme im Sevatium zur Norium/Rhätium-Grenze von 2°C wird auch am Eibergkogel in Verbindung mit einer Eintiefung des Beckens und einem veränderten Temperaturgradient beobachtet (Mette et al. 2012). Einzelne Ereignisse in den Entwicklungen am Ende des Noriums sind wenig überzeugend. Ein Niedergang in mehreren Stufen, der primär die Kohlenstoffproduktion beeinflusst hat, ist wahrscheinlicher (Whideside et al. 2011; Mette et al. 2012; Richoz et al. 2012a).

11. Zur Notwendigkeit zukünftiger Forschung

Die bisherige Forschung ergab wenig konkrete Ergebnisse in der $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$ Isotopie. Die vorliegende Arbeit hat sich diesem Umstand angenommen und will mit ihren Ergebnissen mehr Klarheit in die Problematik der Norium/Rhätium-Grenze bringen. Dennoch müssen weitere Untersuchungen relevanter Fundorte unter den Gesichtspunkten der chemostratigraphischen Analyse vorgenommen werden. So müssen auch die Arbeiten am Leislingkogel als nicht abgeschlossen betrachtet werden. Für 2013 ist eine weitere Kampagne am Leislingkogel im Gespräch. Sie soll die Profile, die keine befriedigende Beprobung erfuhren, komplettieren. Auch soll geprüft werden, ob das erschließen weiterer Profile möglich und sinnvoll ist.

12. Literaturliste

- Dunham et al. 1962** Dunham R. J., Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W. E.: Classification of carbonate rocks - a symposium; AAPG Memoirs 1, 108-121, Tulsa, 1962
- Epstein et al. 1951** Epstein R., Buchsbaum H. A., Lowenstam H. C., Urey "Carbonate-water isotopic temperature scale", Geological Society of America Bulletin, Band 62, 1951, S. 417–426, H. C. Urey, H. A. Lowenstam, S. Epstein, C. R. McKinney Measurement of paleotemperatures and temperatures of the Upper Cretaceous of England, Denmark and the Southeastern United States", Geological Society of America Bulletin, Band 62, S. 399–416, 1951
- Faupl 2003** Faupl P., Historische Geologie, 2. Auflage, Facultas UTB, Wien, 2003
- Flügel et al. 1972** Flügel H. W. et al., Führer zu den Exkursionen der 42. Jahresversammlung der paläontologischen Gesellschaft, Graz, S.61ff, 1972
- Flügel 1996** Flügel E., Evolution of triassic reefs: current concepts and problems, Facies, S. 197-328, 1996
- Frisch et al. 2001** Frisch W., Gawlick H.-J., Die tektonische Gliederung der Kalkalpen im Salzkammergut im Lichte der historischen Entwicklung, Berichte der GBA, Bd. 56, Wien, 2001
- Gardin et al. 2012** Gardin S., Krystyn L., Richo S., Bartolini A., Galbrun B. ; Where and when the earliest coccolithophores?, Lethaia, Nr 311, 2012
- Gawlick et al. 2000** Gawlick H.-J., Böhm F., Sequence and isotope stratigraphy of Late Triassic distal periplatform limestone from the Northern Calcareous Alps (Kälberstein Quarry, Berchtesgaden Hallstatt Zone, International Journal of Earth Science, S.108-129, Springer-Verlag, 2000

- Hoefs et al. 2009** Hoefs J., Stable Isotope Geochemistry, 6. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009
- Kiessling et al. 2002** Kiessling W., Flügel E., Golonka J., Phanerozoik Reef Patterns, SEPM, Tulsa, U.S.A., 2002
- Kiessling 2010** Kiessling W., Reef expansion during the Triassic: Spread of photosymbiosis balancing climatic cooling, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology Bd. 290 S. 11–19, 2010
- Krystyn et al. 1973** Krystyn L., Zur Ammoniten- und Conodonten-Stratigraphie der Hallstätter Obertrias (Salzkammergut, Österreich), Verhandlungen der geologischen Bundesanstalt, Heft 1, S. 113—153, Wien, 1973
- Krystyn et al. 2007** Krystyn L., Bouquerel H., Kuerschner W., Richo S. Gallet Y, Proposal for a candidate GSSP for the base of the Raetian stage, The Global Triassic. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin 41, 2007
- Krystyn et al. 2008** Krystyn L., Mandl G. W., Upper Triassic Subdivisions, Zonations and Events, Berichte GBA 76, 2008
- Krystyn et al. 2009** Krystyn L., Mandl G. W., Schauer M.; Growth and Termination of the Triassic Platform Margins of the Dachstein area (Northern Calcareous Alps, Austria), Austrian Journal of Sciences, Vol. 102, S. 23-33, Wien, 2009
- Kürschner et al. 2006** Kürschner W. M., Bonis N., Krystyn L., Carbon-isotope stratigraphy and palynostratigraphy of the Triassic-Jurassic transition in the Tiefengraben section – Northern Calcareous Alps (Austria), 2006
- Mandl et al. 1999** Mandl G. W., Barth F., Hofmann Th., et al., Field trip guide - Vienna - Dachstein - Hallstatt - Salzkammergut (UNESCO World Heritage Area), Berichte der Geologischen Bundesanstalt, Band 49, 113 S., 43 Abb., Wien 1999

- Mandi 2000** Mandel G. W., The alpine sector of Thethyan shelf – Examples of Triassic to Jurassic sedimentation and deformation from the northern Calcareous Alps, *Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft*, Band 92 S. 61-78, 2000
- Marzoli et al. 2004** Andrea Marzoli et al., Synchrony of the Central Atlantic magmatic province and the Triassic-Jurassic boundary climatic and biotic crisis, *Geological Society of America*, v. 32; no. 11; p. 973–976; doi: 10.1130/G20652.1, 2004
- Mette et al. 2012** Mette W., Elsler A., Korte Ch., Palaeoenvironmental changes in the Late Triassic (Rhaetian) of the Northern Calcareous Alps: Clues from stable isotopes and microfossils, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 350–352 (2012) 62–72, 2012
- Muttoni et al. 2000** Muttoni G., Kent D.V. et al., Magnetostratigraphy and biostratigraphy of the Carnian/Norian boundary interval from the Pizzo Mondello section (Sicani Mountains, Sicily), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleoecology* 166 S. 383-399, Elsevier Verlag, 2000
- Muttoni et al. 2004** Muttoni G., Kent D.V. et al., Tethyan magnetostratigraphy from Pizzo Mondello (Sicily) and correlation to the Late Triassic Newark astrochronological polarity time scale, 2004
- Nichols 2011** Nichols G., *Sedimentology and Stratigraphy*, 2nd E., Verlag Wiley-Blackwell, USA, 2011
- Nomade et al. 2007** Nomade S., Knight K.B., Beutel E., Renne P.R., Verati C., Féraud G., Marzoli A., Youbi N., Bertrand H., Chronology of the Central Atlantic Magmatic Province: Implications for the Central Atlantic rifting processes and the Triassic–Jurassic biotic crisis, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* Bd. 244, S. 326–344, 2007

- Pistotnik et al. 1973** Pistotnik U., Fazies und Tektonik der Hallstätter Zone von Bad Ischl — Bad Aussee (Salzkammergut, Österreich), Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, 66.-67. Band, 1973/74
- Preto et al. 2010** Preto N. , Kustatscher E., Wignall P., Triassic climates - State of the art and perspectives, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Bd. 290 S.1-10, 2010
- Richoz et al. 2007** Richoz S., Krystyn L., Horacek M., Spötl C., Carbon isotope record of the Induan-Olenekian candidate GSSP Mud and comparison with other sections, Albertinia 35, 2007
- Richoz et al. 2012a** Sylvain Richoz S., van de Schootbrugge B., Pross J., Püttmann W., Quan T. M., Lindström S., Heunisch C., Fiebig J., Maquil R., Schouten S., Hauenberger Ch. A. and Wignall P. B., Hydrogen sulphide poisoning of shallow seas following the end-Triassic extinction, nature science, 2012
- Richoz et al. 2012b** Richoz S., Krystyn L., Von Hillebrandt A., Martindale R., End-Triassic crisis events recorded in platform and basin of the Austrian Alps. The Triassic/Jurassic and Norian/Rhaetian GSSPs, Field Trip Guide 29th IAS Meeting of Sedimentology, Schladming/Austria, Journal of Alpine Geology 55, S. 321-374, Wien, 2012
- Ruhl et al. 2009;** Ruhl M., Kürschner W. M., Krystyn L., Triassic-Jurassic organic carbon isotope stratigraphy of key sections in the western Tethys realm (Austria), 2009
- Ruhl et al. 2010** Ruhl M., Kuerschner W.M., Reitsma M., van Bergen M.J., A new chronology for the end-Triassic mass extinction, Earth and Planetary Science Letters Bd. 291 S. 113–125, 2010
- Schlager et al. 1973** Schlager W. und Schöllnberger W., Das Prinzip stratigrafischer Wenden in der Schichtfolge der Nördlichen Kalkalpen, Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, 66.-67. Band, 1973/74

- Sephton et al. 2002** Sephton. M. A., Amor K., Franchi I. A., Wignall P. B., Newton R., Zonneveld J.-P., Carbon and nitrogen isotope disturbances and an end-Norian (Late Triassic) extinction event, Geological Society of America, v. 30; no. 12; p. 1119–1122, 2002
- Stanley 2001** Stanley S. M., Historische Geologie, 2. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Berlin, 2001
- Tanner 2006** Tanner L. H., Carbon Isotope record of upper Triassic strata of the Lagronegro Basin, Southern Apennines, Italy: Preliminary Results, 2006.
- Tanner 2007** Tanner L. H., Upper Triassic Carbon Isotope Stratigraphy of the Lagronegro Succession, Southern Apennines, Italy; 2007
- Tanner 2010** Tanner L. H., the Triassic isotope record, Geological Society, London, Special Publications, v. 334, S. 103-118, 2010
- Tollmann 1976a** Tollmann A., Monografie der Nördlichen Kalkalpen Teil II: Analyse des klassischen Nordalpinen Mesozoikums, Stratigrafie, Fauna und Fazies der nördlichen Kalkalpen, Franz Deuticke Verlag, Wien, S. 580ff., 1976
- Tollmann 1976b** Tollmann A., Monografie der Nördlichen Kalkalpen Teil III: Der Bau der Nördlichen Kalkalpen, Orogene Stellung und regionale Tektonik, Franz Deuticke Verlag, Wien, S331ff., 1976
- Tollmann 1985** Tollmann, A., Geologie von Österreich, Bd. II: Außerzentralalpiner Anteil. Wien (Deuticke), 710ff. , 1985
- Tollmann et al. 1970** Tollmann A., Kristan-Tollmann E., Geologische und mikropaläontologische Untersuchungen im Westabschnitt der Hallstätter Zone in den Ostalpen. Geologica et Palaentologica, 4, 87-145., 1970

- Tollmann 1987** Tollmann A., Late Jurassic/Neocomian Gravitational Tectonics in the Northern Calcareous Alps in Austria. In: H.W. Flügel and P. Faupl (eds.), *Geodynamics of the Eastern Alps*, 112-125, Wien (Deuticke), 1987
- Tucker et al. 2008** Tucker M., Wright P., *Carbonate Sedimentology*, Verlag Blackwell Science, USA, 2008
- Van the Schootbrugge et al. 2009**
 Van de Schootbrugge B., Quans T. M., Lindström S. , Püttmann W., Heunisch C., Pross J., Fiebig J., Petschick R., Röhling H.-G. , Richo S., Rosenthal Y., Falkowski P. G. ; Floral changes across the Triassic/Jurassic boundary linked to flood basalt volcanism, *Nature Geoscience* 2, S. 589 – 594, 2009
- Ward et al. 2001** Ward P.D., Haggart J.W., Carter E.S., Wilbur D., Tippers H.W., and Evans T., Sudden productivity collapse associated with the Triassic-Jurassic boundary mass extinction: *Science*, v. 292, no. 5519, p. 1148–1151, doi:10.1126/science.1058574., 2001
- Ward et al.s 2004** Ward P.D., Garrison G.H., Haggart J.W., Kring D.A., Beattie M.J., Isotopic evidence bearing on Late Triassic extinction events, Queen Charlotte Islands, British Columbia, and implications for the duration and cause of the Triassic/Jurassic mass extinction. *Earth and Planetary Science Letters* 224, 589–600., 2004
- Whiteside et al. 2011** Whiteside J. H., Ward P. D., Ammonoid diversity and disparity track episodes of chaotic carbon cycling during the early Mesozoic, *Geological Society of America*, v. 39; no. 2; p. 99–102, 2011
- Williford et al. 2006** Williford K. H., Ward P. D., Garrison G. H., Buick R., An extended organic carbon-isotope record across the Triassic–Jurassic boundary in the Queen Charlotte Islands, British Columbia, Canada, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2006

13. Abbildungsliste

Abbildung 1: Entwicklung der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in der unteren Trias (Tanner 2010)	18
Abbildung 2: Meeresspiegelschwankungen in der Trias (Kiesling et al. 2002)	20
Abbildung 3: Entwicklung der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in der oberen Trias (Tanner 2010)	20
Abbildung 4: Bad Goisern im Salzkammergut – Übersicht (Martin Maslo)	23
Abbildung 5: Satellitenkarte verändert durch Heilig Ph. aus Google Maps©	24
Abbildung 6: Lithologische Diversität der Hallstätter Kalke (Mandl et al. 1999) und farbliche Legende zu Abbildung 7 und 8	27
Abbildung 7: Geologische Übersichtskarte des Salzkammerguts (Mandl et al. 1999)	28
Abbildung 8: Querschnitt durch den Deckenbau des Juvavikums (Mandl et al. 1999)	29
Abbildung 9: Zusammenhang der Sedimentation und der tektonischen Verschiebungen im Mittelbau der nördlichen Kalkalpen (Mandl et al. 1999)	29
Abbildung 10: Orthofoto aus der Vermessung des Geländes am Leislingkogel (nach Martin Maslo und Philipp Heilig, unveröffentlicht)	30
Abbildung 11: Hangquerschnitt der Profile am Leislingkogel (nach Martin Maslo und Philipp Heilig, unveröffentlicht)	31
Abbildung 12: massiger Hellkalk.....	38
Abbildung 13: Hangendrotkalk.....	39
Abbildung 14: Hangendgraukalk.....	39
Abbildung 15: Zlambachmergel aus dem Kleinen Zlambachgraben	40
Abbildung 16: Ammonitenzonierung der Trias gegen die Conodontenzonen (Krystyn et al. 2009)	42
Abbildung 17: Beispiel eines Ammonit im Hangend Rotkalk (Foto: Christian Fleis)	42
Abbildung 18: Profil Leislingkogel, in Format A3 auf S. 75.....	44
Abbildung 19: Meerwassertemperatur, $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$ Isotopie des Leislingkogels, ergänzt durch Steinbergkogel	46

Abbildung 20: Ausschnitt vergrößert Alaun (Nach Heilig Ph.)	48
Abbildung 21: Isotopie des Sevatium.....	48
Abbildung 22: Ausschnitt vergrößert Norium/Rhätiumgrenze (Nach Heilig Ph.)	49
Abbildung 23: Isotopieentwicklung im Rhätium.....	50
Abbildung 24: $\delta^{13}\text{C}/\delta^{18}\text{O}$ Diagenese Trends	52

14. Internetreferenzen

Paleomap Project	http://www.scotese.com
Google Maps	http://googlemaps.com
Finnigan Corp.	www.thermo.com.cn/.../File_28763.pdf

15. Anhang

Anlage A: Tabelle der ausgewerteten chemostratigraphischen Daten

Die folgende Tabelle enthält alle chemostratigraphische ausgewerteten Proben mit ihren jeweiligen Delta-Werten wie sie in Abbildung 19 verwendet wurden.

Probennummer	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$
Profil LL0, LL7, LL8		
I1	3,4	-0,8
I2	3,6	-0,4
I3	3,6	-0,3
I4	3,4	-0,6
I5	3,4	-0,4
I6	3,4	-0,3
I7	3,4	-0,4
I8	3,5	-0,4
I9	3,5	-0,7
I10	3,6	-0,3
I11	3,5	-0,4
I12	3,5	-0,6
I13	3,4	-0,5
I14	3,4	-0,7
I15	3,5	-0,6
I16	3,5	-0,4
I17	3,3	-0,6
I18	3,3	-0,2
I19	3,7	-0,3
I20	3,4	-0,9
I21	3,3	-0,2
I22	3,3	-0,2
I23	3,1	-0,9
I24	3,0	-1,0
I25	3,0	-0,7
I26	2,9	-0,8
I27	2,7	-1,0

I28	2,9	-0,6
I29	2,7	-0,7
I30	2,8	-1,0
I31	2,8	-0,9
I32	2,8	-1,0
I33	2,8	-1,1
I34	3,0	-1,0
I35	2,8	-1,0
I36	3,0	-1,0
I37	2,8	-1,5
I38	2,8	-0,9
I39	2,7	-1,3
I40	3,0	-1,0
I41	2,9	-1,2
I42	3,0	-0,8
I43	2,7	-1,4
I44	2,8	-1,2
I45	2,5	-0,5
I46	3,2	-0,8
I47	3,2	-0,6
I48	3,2	-0,9
I49	3,2	-0,8
I50	-2,4	-2,5
I51	2,7	-1,0
I52	2,7	-1,0
I53	2,6	0,6
I54	2,5	-1,1
I55	2,6	-1,1
I56	2,7	-0,7
I57	2,4	-0,8
I58	2,9	-0,8
I59	2,6	-1,2
I60	2,9	-0,6
I61	2,9	-1,0
I62	2,7	-1,2
I63	2,5	-1,2
I64	2,8	-1,1
I65	2,5	-0,1
I66	2,7	-1,3

I67	2,5	-1,8
I68	2,6	-0,8
I69	2,7	-1,0
I70	2,8	-1,0
I71	2,7	-1,0
I72	2,8	-1,1
Profil LL6		
LL6/0	2,4	-1,2
LL6/1	2,3	-1,1
LL6/2	2,3	-1,1
LL6/3	2,3	-1,4
LL6/5	2,5	-0,7
LL6/6	2,3	-1,2
LL6/6A	2,4	-0,7
LL6/7	2,4	-1,1
LL6/8A	2,4	-1,1
LL6/8B	2,2	-0,9
LL6/9A	2,2	-0,7
LL6/9B	2,2	-0,9
LL6/9C	2,3	-0,6
LL6/9D	2,3	-0,9
LL6/9E	2,3	-0,8
LL6/10A	2,3	-0,9
LL6/10B	2,4	-0,7
LL6/11A	2,5	-0,8
LL6/11B	2,3	-0,9
LL6/11C	2,5	-0,4
LL6/12A	2,6	-0,3
LL6/12B	2,4	-0,6
LL6/12C	2,0	-1,0
LL6/13A	2,3	-0,7
LL6/13B	2,2	-0,6
LL6/14	2,2	-0,6
Profil LL2		
LL2/2	0,7	-1,4

LL2/5	-0,1	-2,5
LL2/9	0,8	-1,4
LL2/11	-0,9	-1,1
LL2/12	0,1	-1,1
LL2/13	-0,5	-1,1
LL2/14	0,2	-0,7
LL2/18	1,2	-0,8
LL2/20	-1,8	-2,2
Profil LL3		
LL3/11	-0,7	-2,9
LL3/12	-1,5	-2,1
LL3/15	-0,7	-2,3
LL3/16	0,7	-2,7
LL3/26	0,0	-3,3
LL3/31a	-1,0	-1,6
LL3/31c	0,6	-2,7
Zusätzliche Proben zu Profil LL8 und LL6		
LL8 6B	2,8	-0,7
LL8 6c	2,8	-0,8
LL8 8	2,5	-2,2
LL8 11A	2,8	-0,6
LL0 8/1	3,0	-0,7
LL0 9/2	3,2	-0,7

Veröffentlichungen

Masterarbeit Universität Wien Isotope chemostratigraphy at Leislingkogel, Northern
Calcareous Alps, Austria:
A key section to understand the premises of the major
marine environmental changes in the late upper Triassic
Noch nicht veröffentlicht, Geplant für Oktober 2012,
Facultas Verlags- & Buchhandels AG