

3D Modellierung eines Karnischen Ammoniten- Massenvorkommens

(Taurus, Türkei; FWF P22109-B17)

Susanne MAYRHOFER, Alexander LUKENEDER

Peer-reviewed COGeo 2010 contribution

doi:10.5242/cogeo.2010.0006

Zusammenfassung

Die Ober-Trias im Gesamten und die Karnische Stufe im Speziellen wurden von einer der umfangreichsten ökologischen Krisen des Mesozoikums heimgesucht, der Karnischen Krise (= Carnian Pluvial Event), wobei die karbonatischen Plattformen abstarben und mit ihnen die meisten Riffbildner verschwanden (SIMMS & RUFFEL 1989; HORNING 2008). Die zu untersuchende *Orthoceltites* Vergesellschaftung (Ammoniten, Cephalopoden) wurde während der Karnischen Krise an der Grenze der Kartoz und Kasimlar Formation (Anatolien, Türkei) abgelagert (KRYSTYN et al. 2002; GALLET & al. 2007) und kann als Mandat für die Umweltbedingungen dieser Zeit und der biologischen Krise im Karnium fungieren. Zu erwähnen ist, dass bis heute die genaue Ursache der Karnischen Krise unter heftiger Diskussion steht. Die Hauptthematiken dieser Studie sind die paläoökologische, paläobiogeographische, litho-, zyκλο- und magnetostratigraphische Entwicklung des Ober-Trias (Karnium) Ammoniten Massenvorkommens an der Lokalität Asagiyaylabel (Türkei), gebildet zur Zeit der Karnischen Krise. Dieses Gebiet ist eine Schlüssel-Lokalität im Taurus Gebirge und hat eine verbindende und zwischengelagerte Position. Zur Zeit der Ober-Trias lag das Gebiet an der Westspitze des Kimmerischen Systems und wies Verbindungen zum Neo-Tethys und zum Paläo-Tethys Ozean auf. Neue Einsichten in die Taxonomie und die Paläoökologie der zu untersuchenden Ammoniten und den dazugehörigen Makro- und Mikrofossilien werden erwartet. Die massenhaften Ammoniten *Orthoceltites*, mindestens 200 Millionen Exemplare, werden als Vertreter einer neuen Art angesehen. Weitere Themen der Untersuchungen sind die ursprüngliche Position und die Umweltbedingungen des Ablagerungsraumes bei Asagiyaylabel im Taurus Gebirge. Die Bildung der Ammoniten Lagen ist entweder autochthon oder allochthon (transportiert) begründet. Resultate der 3D Modellierungen sind grundlegend für die geodynamischen, paläoozeanographischen und paläobiologischen Schlussfolgerungen. Das führt weiter zur Fragestellung der ursprünglichen Wassertiefen während der Bildung des Ammoniten Massenvorkommens. Ein Ziel dieses 'multi-tasking' Projektes ist es, die Zusammenarbeit mit verschiedenen Wissenschaftsparten wie der 'Structural Processes Group' und der 'Geometric Modelling Group', zu unterstreichen. Interdisziplinäre Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaften ist in modernen Zeiten essenziell. Statistische Analysen der Orientierung (z.B. Imbrikation) der Ammoniten Schalen kann auf Strömungen oder Transport Richtungen hinweisen. 3D Modellierung von Kalzit-Zementen (fossile Wasserwaagen) und diagenetisch gebildeten Kalzit-Adern, welche die Ammoniten durchbrechen, komplettieren die geometrischen Rekonstruktionen und werfen Licht auf biostratinomische (vor

der Einbettung) und folgende diagenetische (nach der Einbettung) Prozesse. Die Kombination von Analysen verschiedener Fossilgruppen, in Verbindung mit Isotopen, der Magneto- und Zyklostratigraphie, geochemischen Daten, sowie der 3D Rekonstruktionen wird helfen Details der Ober-Trias und der Krisen des Mesozoikums zu lösen. Meeresspiegelschwankungen und Klimaänderungen können deutlicher erscheinen und der ‘Motor’ hinter einem solchen Niedergang besser verstanden werden. Untersuchungen an Lokalitäten wie Asagiaylabel können als Lösungsansatz für die Karnische Krise dienen.

1 Einführung

1.1. Geographie und Geologie

Das paläogeographische Arbeitsgebiet des Anatolischen Systems (Taurus, Türkei) war in der Trias durch Mikroplatten inmitten der West-Tethys charakterisiert (Abb. 1). Die westliche Grenze der Neo-Tethys wurde durch einen Teil der so genannten Kimmerischen Blöcke gebildet (DECOURT 1993, 2000; SCOTese et al. 1989; SCOTese 1998, 2001; STAMPFLI & BOREL 2002; STAMPFLI et al. 2002). Durch die Ausdehnung der Paläo-Tethys bildete sich zwischen dem Afrikanischen Kontinent und den nördlichen Kimmerischen Superterrains die neu entstandene Neo-Tethys. Diese Kimmerischen Blöcke inkludierten die heutige Türkei, den Iran, Afghanistan, Tibet und Malaysia. Nördlich dieser Kimmerischen Blöcke hatte die „alte“ Paläo-Tethys weiterhin offene Verbindungen nach Norden. Das Gebiet um Asagiaylabel war höchstwahrscheinlich Teil dieser Blöcke. Das *Orthoceltites* Massenvorkommen der Obertrias (Karnische Stufe) wurde innerhalb eines Intraschelfbeckens in diesem Bereich gebildet. Dieses außergewöhnliche Ammoniten Massenvorkommen (*Orthoceltites* sp.) befindet sich direkt über den grauen Plattformkarbonaten der Kartoz Formation (Abb. 1). Riffe und Plattformen erlebten innerhalb des Karniums einen enormen Rückgang (= Karnische Krise bzw. Carnian Pluvial Event). Schwarze Kalke der *Orthoceltites* Schichten zeigen einen drastischen Wechsel der Umweltbedingungen zur Zeit der Bildung an. Diese Schichten sind überlagert von mergeligen Kalken welche wiederum von hunderten Metern von schiefrig verwitternden Mergeln überlagert werden.

1.2. Der Schlüsselaufschluss

Der Aufschluss Asagiaylabel befindet sich im Südwesten der heutigen Türkei, 90 km nordöstlich von Antalya beim Golf von Adalia, und ca. 70 km südöstlich von Isparta (Abb. 1), zwischen den Seen Egirdir (NW) und Beysehir (NE). Die steil aufgeschlossenen Kalkbänke liegen ca. 300 m westlich der kleinen Ortschaft Asagiaylabel. Die Neigung der fossilreichen *Orthoceltites* Schichten beträgt ca. 45° gegen NE. Tektonisch zählt das Gebiet um Asagiaylabel zum Anamas Autochthon welches sich innerhalb der so genannten Taurus Plattform Einheiten befindet (ROBERTSON 1993, SENEL 1997). Das Anamas Autochthon, welches auch Karacahasir-Autochthon genannt wird, beinhaltet Mittel- bis Obertriassische Kalke sowie mergelige Kalke und „Schiefer“ bis zu einer Mächtigkeit von 500 m. Die Hauptformationen innerhalb der untersuchten Lokalität sind die Mittel- bis Obertriassische (Ladinische bis Karnische) Kartoz Formation sowie die Obertriassische (Karnische) Kasimlar Formation. Während die Kartoz Formation aus Flachwasserkarbonaten besteht, beginnt die Kasimlar Formation nach einer stratigraphischen Lücke, mit den bereits erwähnten *Orthoceltites* Schichten (schwarze Ammoniten-Kalke). Darüber lagern hemipelagische Kalke gefolgt von hunderten Metern von mergeligen „Schiefern“ mit Schill-Lagen von Bivalven (*Halobia* sp.) und selten Ammoniten. Die Stratigraphie dieses Auf-

schlusses beruht auf Untersuchungen von Conodonten, Ammoniten sowie halobiiden Bivalven (KRYSTYN et al. 2002, GALLET et al. 2007).

Die Besonderheit dieses Aufschlusses stellt ein bereits erwähntes Ammoniten Massenvorkommen (*Orthoceltites* Schichten) an der Basis der Kasimlar Formation dar (Abb. 1 & 2). Dieses Vorkommen wird stratigraphisch in das Karnium (Jul) gestellt welches dem weltweiten Interval (innerhalb der Tethys) der so genannten Karnischen Krise (HORNUNG 2008) oder Carnian Pluvial Event (SIMMS & RUFFEL 1989) entspricht. Ein Abschnitt der vom Jul 1/IIc bis and die Jul/Tuval Grenze reicht. Die *Orthoceltites* Schichten gehören aufgrund biostratigraphischer Untersuchungen der *Austrotrachyceras austriacum* Ammoniten Biozone an, welche laut GRADSTEIN et al. (2004) von ca. 226 Ma bis 223 Ma andauerte.

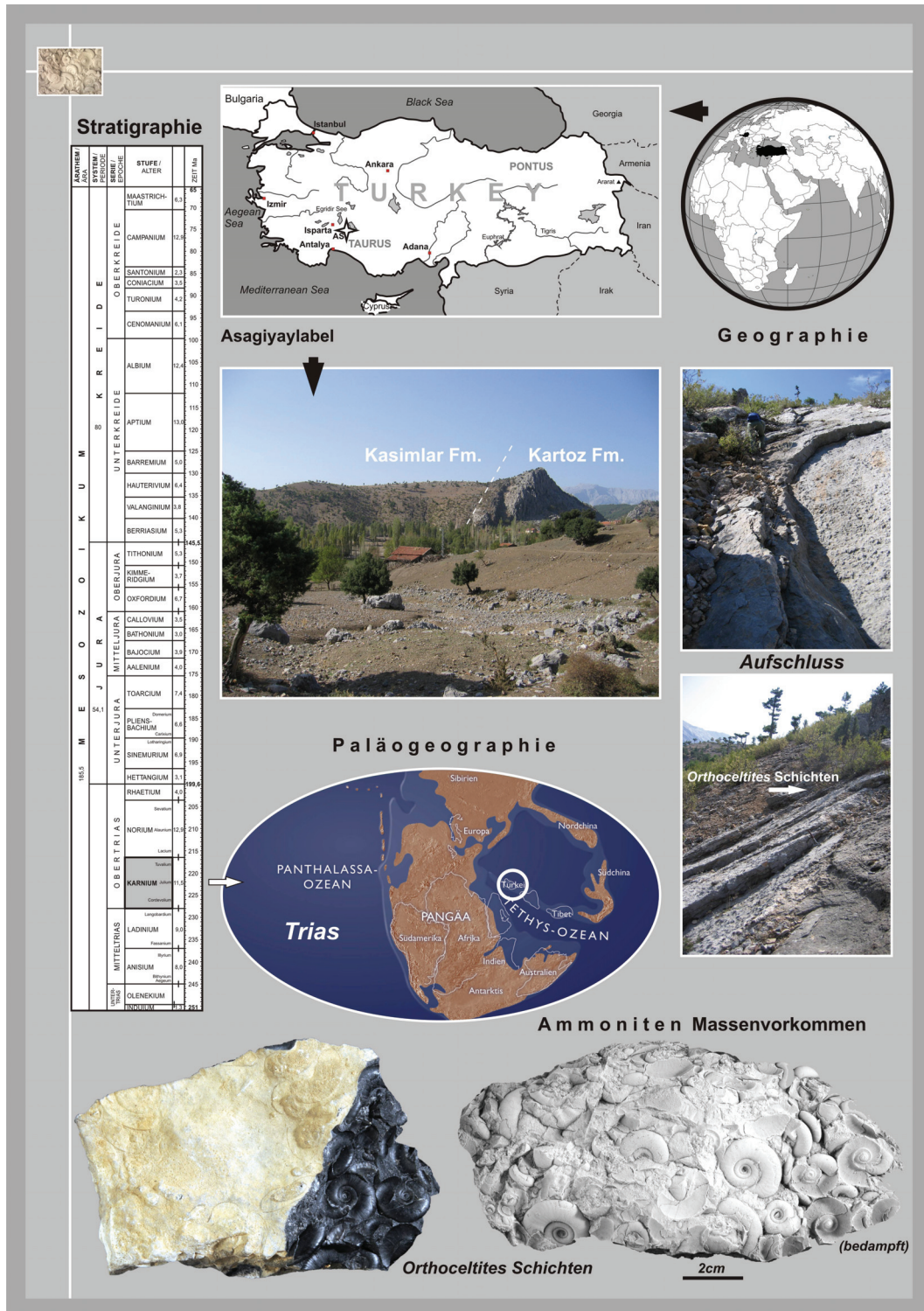


Abb. 1: Stratigraphische Zeitskala (links) mit der Karnischen Stufe als Teil der Ober-Trias. Die paläogeographische Position des Fundgebietes ist durch einen weißen Kreis markiert (zusammengestellt nach SCOTSE 2001 und STAMPLI et al. 2002). Lage der Lokalität an der Grenze Kartoz Formation vs. Kasimlar Formation bei Asagiaylabel (Bildmitte). Der Aufschluss mit angedeuteter Position der *Orthoceltites* Schichten (rechts).

2 Ausgangssituation und Problemstellung

Bis heute fehlt es an detaillierten Untersuchungen und Publikationen mesozoischer Daten der Lokalität Asagiyaylabel (Anatolien, Türkei; Abb. 1). Die känozoischen Becken, sowie Material aus der Umgebung, wurden von KELLING et al. (2005) und DEYNOUX et al. (2005) zusammengefasst und beschrieben. Während der 1970er Jahre konnte eine reiche Brachiopodenfauna aus triassischen bis jurassischen Sedimenten des Gebietes zwischen den beiden Seen Egidir und Beysehir aufgesammelt werden (AGER et al. 1978). Die Geologie der Südwest Türkei, im Speziellen des Anamas Dag, wurde weitgehend von GUTNIC et al. (1979), ROBERTSON (1993) und SENEL (1997) aufgenommen. Die Lokalität befindet sich zwischen der Antalya Sutur im Süden und der Izmir-Ankara Sutur im Norden (ANDREWS & ROBERTSON 2002). Am westlichen Ende des kimmerischen Kontinents gelegen, zeigte es zur Zeit der Trias Verbindungen sowohl zur Neo- als auch zur Paläo-Tethys (DECOURT 1993, 2000; SCOTESE 1998, 2001; SCOTESE et al. 1989; STAMPFLI & BOREL 2002; STAMPFLI et al. 2002). Bis heute fehlen präzise paläontologische Studien aus dem Gebiet um Asagiyaylabel. Solche „Fossilagerstätten“ (SEILACHER et al. 1985) deuten auf bestimmte Umweltbedingungen hin, spiegeln Paläodynamische Systeme wieder und sind ein bedeutendes Hilfsmittel für Faziesanalysen und Marker-Schicht Korrelationen (ERNST et al. 1983; BRETT & BAIRD 1996; BRETT et al. 1996; SEILACHER et al. 1985; KIDWELL et al. 1986). Ammoniten sind innerhalb mariner Sequenzen der Trias bedeutende biostratigraphische Indikatoren. Zu ihren Habitaten zählen der Schelf und das Pelagikum der obertriassischen Neo-Tethys, dennoch ist deren Lebensweise bislang immer noch sehr umstritten (WESTERMANN 1990, 1996). Studien vergleichbarer Ammoniten Massenvorkommen zeigen die Bedeutung von Ammoniten in der Paläoökologie (LUKENEDER 2001; LUKENEDER 2003 a, b; LUKENEDER 2004 a, b, c, d; LUKENEDER 2005; LUKENEDER 2007; LUKENEDER & SMRECKOVÁ 2006). Die massenhaft auftretenden Ammoniten der Gattung *Orthocelites* werden als Vertreter einer neuen Art angesehen. Eine weitere Fragestellung, ob die Ammoniten Lagen als autochthon (= an Ort und Stelle entstanden) oder allochthon (= transportiert) anzusehen sind, soll gelöst werden. 3D Modellierungen sind Voraussetzung für geodynamische, paläoozeanographische und paläobiologische Schlussfolgerungen. 3D Analysen der Orientierung von Ammoniten Schalen können auf Strömungen oder Transport Richtungen hinweisen. Dadurch können Meeresspiegelschwankungen und Klimaänderungen verdeutlicht werden und der „Motor“ hinter einem solchen Niedergang besser verstanden werden.

3 Methodik

Neben Methoden wie Mikrofossil-Analyse, Magnetostratigraphie, Zyklusstratigraphie, stabile Isotopen Untersuchungen, Gamma-log Spektren, Suzeptibilitäts-Messungen, Lithostratigraphie, Fazies-Analysen und geochemischen-Analysen soll hier auf Methoden der 3D Modellierung näher eingegangen werden. Der Versuch einer zerstörungsfreien 3D Modellierung mittels eines Röntgen-CT's (KETCHAM & CARLSEN 2001) schlug aufgrund der zu ähnlichen Dichte zwischen Kalk ($2,73 \text{ g/cm}^3$) und der durch Kalzit ersetzten Ammonitenschalen ($2,715 \text{ g/cm}^3$) fehl. Aus diesem Grund mussten wir bei der 3D Modellierung zu komplexeren Methoden greifen (Abb. 2 & 3).

3.1 3D Modellierung durch 2D Schnittbilder

Mit Hilfe des Softwareprogramms GoCAD soll eine 3D Rekonstruktion von Ammoniten (*Orthocelites* sp.), von Kalzit-Zement, Kalzit-Klüften und Kalzit-Adern aus digitalisierten Schnittbildern durchgeführt werden (Abb. 2). Durch die Kombination von „matching line features“ können individuelle Objekte aus importierten 2D Schnitten zu einem 3D Modell zusammengerechnet werden. Statistische Analysen der Orientierung und der relativen Position (z.B. Imbrikation) der Fossilien, aber auch Kalzit Zement Verteilung (Geopetal Strukturen) und post

diagenetische Kalzit Adern sollen aufgrund dieses geometrischen Modells errechnet werden. Die Abfolge der Ablagerung und der anschließenden Verfüllung durch Sediment kann so besser verstanden werden. 3D Volumenmodellierung aus klassifizierten Rasterdaten (Scan-/ Foto-) mittels IDL (MARSCHALLINGER 1998 a, b, c; MARSCHALLINGER 2001) wäre eine weitere detaillierte Möglichkeit. Mittels einer Software zur Umrissübereinstimmung wie z. B. CorresGrow (HERBERT & JONES 2001) könnten auch verzweigte Strukturen erkannt und zu einem 3D Modell zusammengerechnet werden. Ein eventuell zu geringer Kontrast der Grauwerte (unverfüllte Wohnkammer vs. Sediment) könnte dabei allerdings Probleme verursachen.

3.1.1. GoCAD

Bei GoCAD (Geological Objects Computer Aided Design) handelt es sich um eine Software zur Modellierung und Interpretation von geologischen Objekten. Mittels diskreter Modellierung (= die Geometrie eines jeden Gegenstandes wird durch einen begrenzten Satz von Knoten/Punkten im 3-dimensionalen euklidischen Modellraum abgebildet) können physikalische Eigenschaften durch beigefügte Werte als Knoten modelliert werden (=Discret Smooth Interpolation) und somit 3D Volumenkörper dargestellt werden.

3.2. 3D Modellierung mittels 3D Laser Scans

Zusätzliche 3D Laser Scans von Oberflächen sollen mittels GoCAD visualisiert werden, und zur Interpretation der Größen-, Orientierungs- und Verteilungsmuster der Ammoniten beitragen. Zusätzlich können dadurch Volumen von Gesteinsblöcken, Ammoniten-Gruppen und von einzelnen Ammoniten selbst, Holotypus etc., berechnet werden (sofern jede Ansicht der Stücke gescannt wurde). Dazu sollen drei unterschiedliche Scan-Methoden zur 3D Digitalisierung zum Einsatz kommen um miteinander ein optimales Ergebnis zu liefern (Abb. 3).

3.2.1. Photosynth

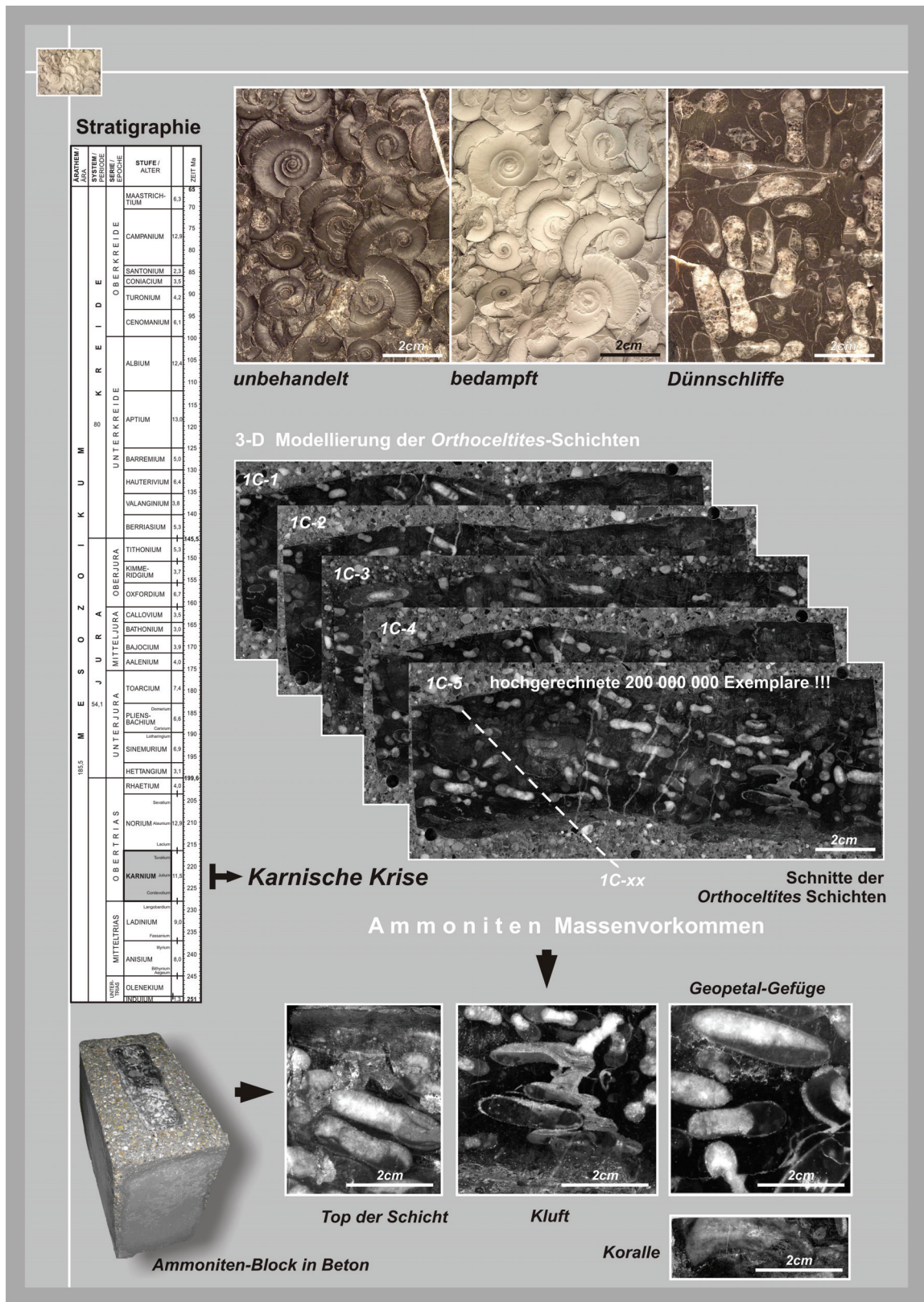
Photosynth ist ein offen zugängliches online Programm (<http://photosynth.net>) das von einem kleinen Team an Wissenschaftlern, Ingenieuren, und Designern ins Leben gerufen und ständig verbessert wird. Durch das Zusammenrechnen von digitalen 2D Photographien aus unterschiedlichen Blickwinkeln kann eine 3D Ansicht sowie eine Punktwolke des Objektes erstellt werden. Aus dieser Punktwolke soll innerhalb des Programms GoCAD eine 3D Oberfläche der Ammoniten und der Ammoniten-Schicht rekonstruiert werden. Diese Rekonstruktionen erlauben exakte Messungen von Distanzen und Volumina.

3.2.2. 3D David Laser Scanner

Der David Laser Scanner ist ein sehr kostengünstiges 3D Scanner System. Er arbeitet nach dem Prinzip der Triangulation durch Licht-Schnittverfahren. Oberflächen können so sehr präzise und detailliert dreidimensional eingescannt werden. Eine Kalibrierfläche welche sich hinter dem zu scannenden Objekt befindet liefert mit Hilfe eines automatisch bewegten Lasers (optional Handgeführt) und einer synchronisierten Kamera sehr detaillierte Scan-Ergebnisse.

3.2.3. Faro Laser Scanner

Der neue FARO® Laser Scanner Photon 120/20 bietet zusammen mit der neuen Software-Version FARO Scene 4.6 den momentan schnellsten Phase Shift Laser Scanner (976.000 Punkte / Sekunde) mit der größten Reichweite auf dem Markt. Die neuen technischen Features des Photon 120/20 machen den Scanner zum einzigartigen System für schnelle High-Performance 3D-Aufnahmen bei reduziertem Rauschen dank Hypermodulation. Flächen und Hüllen von Ammoniten und Schichten können so lückenlos dargestellt und digitale Schnitte gelegt werden.



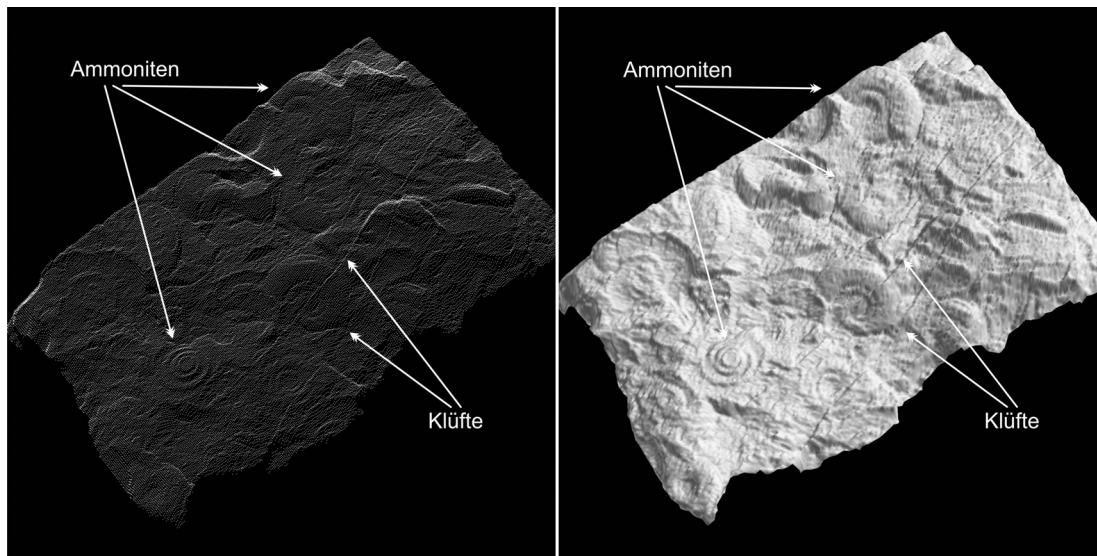


Abb. 3: Laser-Punktwolke der *Orthoceltites* Schicht (links). Errechnetes 3D Bild (rechts).

4 Zielsetzung

Durch die Kombination der Untersuchung verschiedener Fossilgruppen mit Isotopenanalysen, Magnetostratigraphie, Zyklstratigraphie, geochemischer Analysen und 3D Modellierungen soll ein besserer Einblick in die obertriassische Geschichte möglich werden. Von besonderem Interesse ist dabei der Abschnitt der Karnischen Krise. Diese weltweite Krise führte zur Zeit des Karniums vor rund 225 Millionen im heutigen Taurusgebirge zur Ablagerung der schwarzen Ammoniten-Bänke bei Asagiyaylabel. Diese führen an die 200 000 000 Exemplare der kleinwüchsigen (bis 3 cm) Ammoniten Gattung *Orthoceltites*. Die 3D Modellierung spielt dabei eine wesentliche Rolle inmitten der Untersuchungsmethoden. Sie hilft detaillierte Messungen von Distanzen und Volumina vorzunehmen. Orientierungsmessungen anhand der 3D Rekonstruktionen sollen Transport- und etwaige Strömungsrichtungen entschlüsseln. Die Frage der autochthonen bzw. allochthonen Ablagerung soll hiermit geklärt werden. Die dreidimensionale Rekonstruktion der Kalzit-Zemente (fossile Wasserwaagen = Geopetal-Gefüge) sowie der diagenetisch gebildeten Kalzit-Adern (Klüfte, Risse etc.) soll zur Klärung tektonischer Fragestellungen beitragen. Der räumliche Verlauf der Klüfte und deren Verfüllung durch Sediment zeigen zeitliche Abfolgen und tektonische Richtungen während der Bildung solcher Massenvorkommen an. Die Bildungsdauer solcher Ammoniten-Massenvorkommen ist ebenfalls noch nicht geklärt. Durch die 3D Modellierung kann man Rückschlüsse auf die Ab- und mögliche Umlagerung der einzelnen Ammoniten ziehen. Eine etwaige Kondensation, an der Basis der Kasimlar Formation, der Fauna (Ammoniten, Muscheln, Schnecken, etc.) und des Sediments kann so genauer erkannt und dokumentiert werden. Neue Erkenntnisse im Zusammenhang mit der Karnischen Krise und deren Ursachen werden erwartet. Untersuchungen an Aufschlüssen dieses Zeitintervalls dienen als Hinweise für diese bedeutende Krise des obertriassischen Tethys Ozeans. Stratigraphisch fällt das untersuchte Massenvorkommen in das Karnium vom Jul 1/IIc bis an die Jul/Tuval Grenze. Die *Orthoceltites* Schichten werden gegenwärtig in die *Austrotrachyceras austriacum* Ammoniten Biozone gestellt was einer Dauer von ca. 226 bis 223 Ma entspricht. Das Endziel des Projektes ist es, die Umweltveränderungen, ausgelöst durch Meeresspiegel- und Klimaschwankungen, sowie den Motor hinter dem Karnischen Karbonat-Plattförmrückgang mit gleichzeitigem Riffsterben und einem markanten Umschwung in der Meereschemie, der Karnischen Krise oder „Carnian Pluvial Event“, besser zu verstehen.

Literatur

- AGER, D.V., GUTNIC, M., JUTEAU, TH., MONOD, O. (1978): New Early Mesozoic Brachiopods from Southern Turkey. *Bulletin Mineral Research and Exploration Institute of Turkey, Foreign edition*, 91, pp. 59-75.
- ANDREW, T., ROBERTSON A. (2002): The Beyşehir-Hoyran-Hadım nappes: genesis and emplacement of Mesozoic marginal and oceanic units of the northern Neotethys in southern Turkey. *Journal of the Geological Society (London)*, 159, pp. 529-543. [doi:10.1144/0016-764901-157](https://doi.org/10.1144/0016-764901-157)
- BRETT, C.E., BAIRD, G.C. (eds) (1996): *Paleontological Events: Stratigraphic, Ecological and Evolutionary Implications*. Columbia University Press, New York, 604 pp.
- BRETT, C.E., BAIRD, G.C., SPEYER, S.E. (1996): Fossil Lagerstätten: stratigraphic record of paleontological and taphonomic events. 3-40. In BRETT, C.E., BAIRD, G.C. (eds). *Paleontological Events: Stratigraphic, Ecological and Evolutionary Implications*. Columbia University Press, New York.
- DERCOURT, J., RICOU, L.E., VRIELYNCK, B. (eds) (1993): *Atlas Tethys palaeoenvironment maps*, 14 maps, 1 pl. Gauthier-Villars, Paris, 307 pp.
- DERCOURT, J., GAETANI, M., VRIELYNCK, B., BARRIER, E., BIJU DUVAL, B., BRUNET, M.F., CADET, J.P., CRASQUIN, S., SANDULESCU, M. (eds) (2000): *Atlas Peri-Tethys, Palaeogeographical maps*, 24 maps and explanatory notes: I-XX. CCGM/CGMW, Paris, 269 pp.
- DEYNOUX, M., CINER, A., MONOD, O., KARABIYIKOGLU, M., MANATSCHAL, G., TUZCU, S. (2005): Facies architecture and depositional evolution of alluvial fan to fan-delta complexes in the tectonically active Miocene Köprüçay Basin, Isparta Angle, Turkey. In: KELLING, G., ROBERTSON, A.H.F., VAN BUCHEM F.H.P. (eds). *Cenozoic Sedimentary Basins of South Turkey*. *Sedimentary Geology*, 173, pp. 315-343.
- ERNST, G., SCHMID, F., SEIBERTZ, E. (1983): Event-Stratigraphie im Cenoman und Turon von NW-Deutschland. *Zitteliana*, 10, pp. 531-554.
- GALLET, Y., KRYSZYN, L., MARCOUX J., BESSE, J. (2007): New constraints on the End-Triassic (Upper Norian-Rhaetian) magnetostratigraphy. *Earth and Planetary Science Letters*, 255, pp. 458-470. [doi:10.1016/j.epsl.2007.01.004](https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.01.004)
- GRADSTEIN F. M., OGG J.G., SMITH A.G. et al. (2004): *A Geologic Time Scale*. Cambridge University Press 2004, pp. 1-589.
- GUTNIC, M., MONOD, O., POISSON, A., DUMONT, J.F. (1979): *Géologie des Taurides Occidentales (Turquie)*. *Mémoires de la Société Géologique de France*, 137, pp. 1-112.
- HERBERT, M. J., JONES C. B. (2001): Contour correspondence for serial section reconstruction: complex scenarios in palaeontology. *Computer & Geosciences*, 27/4, pp. 427-440. [doi:10.1016/S0098-3004\(00\)00076-5](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(00)00076-5)
- HORNING, T. (2008): *The Carnian Crisis in the Tethys Realm. Multistratigraphic studies and palaeoclimate constraints*. VDM Verlag Dr. Müller, Saarbrücken, 235 pp.
- KELLING, G., ROBERTSON, A.H.F., VAN BUCHEM F.H.P. (eds) (2005): *Cenozoic Sedimentary Basins of South Turkey*. *Sedimentary Geology*, 173, Elsevier B.V., 436 pp.
- KETCHAM, R. A., CARLSON, W. D. (2001): Acquisition, optimization and interpretation of

X-ray computed tomographic imagery: applications to the geosciences. *Computer & Geosciences*, 27/4, pp. 381-400. [doi:10.1016/S0098-3004\(00\)00116-3](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(00)00116-3)

KIDWELL, S.M., FÜRSICH, F.T., AIGNER, T. (1986): Conceptual framework for the analysis and classification of fossil concentrations. *Palaios*, 1, pp. 228-238. [doi:10.2307/3514687](https://doi.org/10.2307/3514687)

KRYSTYN, L., GALLET, Y., BESSE, J., MARCOUX, J. (2002): Integrated Uppercarnian to Lower Norian biochronology and implications for the Upper Triassic magnetic polarity time scale. *Earth and Planetary Science Letters*, 203, pp. 343-351. [doi:10.1016/S0012-821X\(02\)00858-0](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(02)00858-0)

LUKENEDER, A. (2001): Palaeoecological and palaeoceanographical significance of two ammonite mass-occurrences in the Alpine Early Cretaceous. PhD-thesis, University of Vienna, pp. 1-316, Vienna.

LUKENEDER, A. (2003a): Ammonoid stratigraphy of Lower Cretaceous successions within the Vienna Woods (Kaltenleutgeben section, Lunz Nappe, Northern Calcareous Alps, Lower Austria). In Piller W.E. (ed.). *Stratigraphia Austriaca*. Austrian Academy of Sciences Series, "Schriftenreihe der Erdwissenschaftlichen Kommissionen", 16, pp. 165-191, Wien.

LUKENEDER, A. (2003b): The Karsteniceras Level: Dysoxic ammonoid beds within the Early Cretaceous (Barremian, Northern Calcareous Alps, Austria). *Facies*, 49, pp. 87-100.

LUKENEDER, A. (2004a): The Olcostephanus Level: An Upper Valanginian ammonoid mass-occurrence (Lower Cretaceous, Northern Calcareous Alps, Austria). *Acta Geologica Polonica*, 54, 1, pp. 23-33, Warschau.

LUKENEDER, A. (2004b): Late Valanginian ammonoids: Mediterranean and Boreal elements – implications on sea-level controlled migration (Ebenforst Syncline; Northern Calcareous Alps; Upper Austria). *Austrian Journal of Earth Sciences*, 95/96: pp. 46-59, Wien.

LUKENEDER, A. (2004c): A Barremian ammonoid association from the Schneeberg Syncline (Early Cretaceous, Northern Calcareous Alps, Upper Austria). *Annalen des Naturhistorischen Museums Wien*, 106A: pp. 213-225.

LUKENEDER, A. (2004d): Ein Ammoniten-Massenvorkommen aus der Unterkreide – Der Olcostephanus Leithorizont (Nördliche Kalkalpen, Oberösterreich). *Oberösterreichische Geonachrichten*, 19: pp. 25-41.

LUKENEDER, A. (2005): An equivalent of the Karsteniceras Level within the Vienna Woods (Sparbach section, Lunz Nappe, Northern Calcareous Alps, Lower Austria). *Geologica Carpathica*, 56, 4, pp. 307-315, Bratislava.

LUKENEDER, A. (2007): Cephalopod Evolution: A new perspective. Implications from two Early Cretaceous ammonoids (Northern Calcareous Alps, Upper Austria). *Denisia*, 20, pp. 395-404.

LUKENEDER, A., SMRECKOVÁ, M. (2006): An Early Cretaceous radiolarian assemblage: palaeoenvironmental and palaeoecological implications for the Northern Calcareous Alps (Barremian, Lunz Nappe, Lower Austria). *Annalen des Naturhistorischen Museums Wien*, 107A: pp. 23-57.

MARSCHALLINGER, R. (1998a): Three-dimensional reconstruction and modelling of microstructures and microchemistry in geological materials. *Scanning*, 20: pp. 65-73.

MARSCHALLINGER, R. (1998b): A method of three dimensional reconstruction of macroscopic features in geological materials. *Computer & Geosciences*, 24/9, pp. 875-884.

[doi:10.1016/S0098-3004\(98\)00026-0](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(98)00026-0)

MARSCHALLINGER, R. (1998c): Correction of geometric errors associated with the 3-D reconstruction of geological materials by precision serial lapping. *Mineralogical Magazine*, 62/2: pp. 783-792. [doi:10.1180/002646198548160](https://doi.org/10.1180/002646198548160)

MARSCHALLINGER, R. (2001): Three-dimensional reconstruction and visualization of geological materials with IDL – examples and source code. *Computer & Geosciences*, 27/4, pp. 419-426. [doi:10.1016/S0098-3004\(00\)00126-6](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(00)00126-6)

ROBERTSON, A.H.F. (1993): Mesozoic-Tertiary sedimentary and tectonic evolution of Neotethyan carbonate platforms, margins and small ocean basins in the Antalya Complex, Southwest Turkey. In: FROSTICK, L. E., STEEL, R. J. (eds.). *Tectonic controls and signatures in sedimentary successions.: Special Publication of the International Association of Sedimentologists*, 20, Oxford, International, Blackwell, pp. 415-465.

SCOTESE, C.R., GAHAGAN, L.M., LARSON, R.L. (1989): Plate tectonic reconstructions of the Cretaceous and Cenozoic ocean basins. In: SCOTESE, C.R., SAGER, W.W. (eds.). *Mesozoic and Cenozoic plate reconstructions*. Elsevier, Amsterdam. pp. 27-48.

SCOTESE, C.R. (1998): Quicktime Computer Animations. PALEOMAP Project Department of Geology. University of Texas at Arlington, Arlington, Texas.

SCOTESE, C.R. (2001): Atlas of Earth History. Paleomap project, 52 pp., Arlington, Texas.

SEILACHER, A., REIF, W. E., WESTPHAL, F. (1985): Sedimentological, ecological and temporal patterns of fossil Lagerstätten. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, B 311, pp. 5-23. [doi:10.1098/rstb.1985.0134](https://doi.org/10.1098/rstb.1985.0134)

SENEL, M. (1997): Türkiye Jeoloji Haritalari, Nr. 4, Isparta Paftasi, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, 23.

SIMMS, M.J., RUFFEL, A.H. (1989): Synchronicity of climate change and extinctions in the Late Triassic. *Geology*, 17, pp. 265-268. [doi:10.1130/0091-7613\(1989\)017<0265:SOCCAE>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1989)017<0265:SOCCAE>2.3.CO;2)

STAMPFLI, G.M., BOREL, G.D. (2002): A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons. *Earth and Planetary Science Letters*, 196, pp. 17-33. [doi:10.1016/S0012-821X\(01\)00588-X](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00588-X)

STAMPFLI, G.M., BOREL, G.D., MARCHANT, R., MOSAR J. (2002): Western Alps geological constraints on western Tethyan reconstructions. In: ROSENBAUM, G., LISTER, G.S. 2002. *Reconstruction of the evolution of the Alpine-Himalayan Orogen. – J. Virt. Expl.*, 8, pp. 77-106.

WESTERMANN, G.E.G. (1990): New developments in ecology of Jurassic-Cretaceous ammonoids. In: PALLINI, G., CELLA, F. CRESTA, S., SANTANTONIO, M. (eds.), *Fossili, Evoluzione, Ambiente. Com. Cent. Raff. Piccinini, Pergola*, pp. 459-478.

WESTERMANN, G.E.G. (1996): Ammonoid Life and Habitat. In: LANDMAN, N.H., TANABE, K., DAVIS, R.A. (eds.). *Ammonoid Paleobiology. Topics in Geobiology 13*, Plenum Press, New York, pp. 607-707.