

# Nichts Anrühiges: Ein Koprolith im CT-Scanner

*Jesper Milàn, Bo W. Rasmussen, Niels Lynnerup & Lothar H. Vallon*

*Koprolithen – so werden fossile Exkreme genannt – sind keineswegs „anrühig“, sondern geben einen hervorragenden Einblick in fossile Nahrungsketten. Ihr Inhalt kann jedoch meist nur mit aufwendigen Methoden untersucht werden, die die Zerstörung des Fossils zur Folge haben. Viele Informationen, die im Inneren des Koprolithen zu finden wären, bleiben verborgen oder werden unerkannt vernichtet. Eine neue, zerstörungsfreie Methode mit Hilfe der Computertomographie ermöglicht nun Einblicke in innere Strukturen, die mit herkömmlichen Methoden nicht erkennbar waren. Mit einem CT-Scanner kann man im Gegensatz zur Röntgenaufnahme ein dreidimensionales Bild vom Inneren eines Körpers erzeugen. Das Verfahren ist uns vor allem aus der Medizin bekannt, wird aber schon seit Jahren in der Archäologie und seit Kurzem auch in der Paläontologie erfolgreich angewandt.*



*Abb. 1: Der Kalkbruch in Faxe von Nordosten. Die Stadt Faxe befindet sich rechts im Hintergrund. Foto: J. Milàn.*

Der untersuchte Koprolith stammt aus dem Kalkstein von Faxe in Dänemark und hat ein Danium-Alter (ca. 60 Millionen Jahre vor heute). Der Steinbruch von Faxe (Abb. 1) ist vor allem durch seine gut erhaltenen Tiefwasser-Korallenriffe und die artenreiche Fauna wirbelloser Tiere mit mehr als 500 Arten bekannt (Vallon & Milàn 2011). Die Zahl der Wirbeltierfossilien ist jedoch sehr gering. Bisher wurden nur etwa 15 Haiarten, 13 weitere Fischarten sowie einige Reste von Krokodilen und Meeresschildkröten nachgewiesen. Weitere indirekte Nachweise von Wirbeltieren liegen in Gestalt polierter Kieselsteine, die als Magensteine angesehen werden, und von Koprolithen vor. Im Jahr 1998 wurden aus einer kurzfristig aufgeschlossenen Schicht zahlreiche Kopro-

lithen (eine Auswahl zeigt Abb. 2) geborgen und beschrieben (Milàn 2010), darunter auch der hier vorgestellte. Der Koprolith ist nicht umkristallisiert und weitgehend kalzitisch erhalten. Gegenüber dem umgebenden Gestein zeichnet er sich durch eine gelblichere Färbung aus. Dies lässt auf einen gewissen phosphatischen Anteil schließen. Er hat eine Länge von 34 Millimetern und einen Durchmesser von 16 Millimetern. Seine Form ist zylindrisch, wobei eine Seite leicht abgeflacht ist. An einem Ende des Koprolithen ist ein Teil eines kleinen Wirbels sichtbar.

## **Gerichtsmedizinische Untersuchung**

Um den Inhalt von frischem Kot zu untersuchen, wird dieser aufgeschlämmt und die festen Bestandteile werden ausgesiebt. Bei



**Abb. 2:** Eine Auswahl der 1998 geborgenen Koprolithen. Die obere Reihe wurde wahrscheinlich von Krokodilen oder Meeresschildkröten erzeugt (das linke Exemplar ist ein einzelnes Segment eines längeren Kotstrangs). Die mittleren beiden stammen wahrscheinlich von Haien, die unteren drei vermutlich von Knochenfischen. Maßstab: 1 cm. Foto: J. Milān.

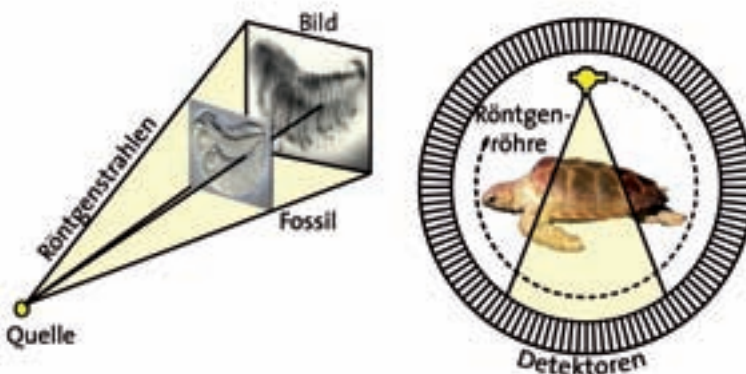
Koprolithen ist diese Methode so gut wie nie anwendbar. Man begnügt sich mit der Herstellung von Dünnschliffserien oder dem Herauspräparieren des Inhalts mit Nadeln. Da diese Präparationsmethoden sehr aufwendig sind und die Zerstörung des Fossils zur Folge haben, werden sie nur in Ausnahmefällen durchgeführt. Zufällige Schnittlagen durch eingeschlossene Objekte erschweren deren Identifizierung unter dem Mikroskop. Kleine Objekte werden häufig bei der Schliffherstellung zerstört, ehe sie

überhaupt erkannt werden können. Innere Strukturen, wie Zonierungen, spindelförmige Aufwicklungen, Kanäle oder Ähnliches sind oft nur in Schliffen zu beobachten. Für winzige Koprolithen (z. B. die Kotpillen von Krebsen) eignet sich bisher nur diese Art der Untersuchung. Neben der äußeren Form sind jedoch oft der Inhalt und seine internen Strukturen wichtige Bestimmungsmerkmale und lassen ferner Rückschlüsse auf den Erzeuger dieser Verdauungsspuren („Digestichnia“) ziehen (Vallon, im Druck).

In der Archäologie werden CT-Scans schon seit etwa 20 Jahren eingesetzt. Diese Methode hat uns beispielsweise erstaunliche Einblicke in das zuvor weitgehend unbekanntes Alltagsleben der alten Ägypter beschert. Plötzlich sprechen die Mumien direkt mit uns und nicht wie zuvor nur durch die Inschriften auf ihren Sarkophagen. Sie erzählen uns von Karies und Arthritis, die die Menschen zu Lebzeiten geplagt haben, in einigen Fällen sogar von Mord und Totschlag.

### Der „Stuhlgang“ zur Uniklinik

Wenn neue Untersuchungsmethoden in einer Wissenschaft erfolgreich eingesetzt werden, versucht man gern, diese auch in der eigenen Disziplin auszuprobieren. Beim herkömmlichen Röntgenverfahren, das bereits seit etwa 100 Jahren bei Fossilien z. B. aus dem Hunsrücksschiefer Anwendung findet, werden die Strahlen einer Röntgenquelle dazu benutzt, ein Objekt zu durchleuchten (Abb. 3). Je nach Absorptionsfähigkeit (z. B. Dichte oder Dicke) des durchleuchteten Objekts werden dabei die Strahlen abgeschwächt. Die Strahlen belichten dann einen Röntgenfilm, wobei unterschiedliche Strahlungsintensitäten unterschiedliche Graustufen erzeugen. Schwarz bedeutet keine Abschwächung der Strahlen, Weiß hingegen eine komplette Undurch-



**Abb. 3:** Vergleich des herkömmlichen Röntgenverfahrens (links) mit der Funktionsweise eines CT-Scanners (rechts). Grafik: L. H. Vallon.

dringbarkeit des Objekts für Röntgenstrahlen. Mit dieser Methode wird ein dreidimensionaler Körper auf eine Ebene projiziert, wobei im Inneren verborgene Objekte sichtbar werden können. Ein Nachteil dieser Methode besteht darin, dass man nicht weiß, ob heller abgebildete Bereiche Objekte mit einer höheren Strahlenabsorption darstellen oder einfach nur dicker sind.

Wie beim normalen Röntgenverfahren werden bei CT-Scans Strahlen durch ein Objekt geschickt. Im Gegensatz zur herkömmlichen Röntgenmethode wird es jedoch aus vielen Richtungen durchleuchtet. Die Röntgenröhre erzeugt dabei einen fächerförmigen Strahl, der auf der gegenüberliegenden Seite von Sensoren gemessen wird (Abb. 3). Je nach Strahlenintensität erzeugen die Sensoren unterschiedlich starke elektronische Impulse, die auf einen angeschlossenen Computer übertragen werden. Danach dreht sich die Röntgenröhre etwas weiter und erzeugt erneut einen fächerförmigen Strahl, den die Sensoren aufnehmen. Diese Prozedur wird mehrfach wiederholt. Die Daten werden dann vom Computer in ein Schnittbild durch den Körper umgerechnet. Mehrere Schnittbilder hintereinander lassen sich zu einer dreidimensionalen Rekonstruktion zusammensetzen.

Bei heutigen CT-Scannern mit ihren leistungsstarken Computern wird jedoch oft ein kontinuierlicher Strahl erzeugt, der um das Objekt rotiert. Das Objekt wird dabei langsam durch die Röntgenröhre gefahren. Die Röntgenstrahlen erzeugen so ein schraubenförmiges Abbild des Objekts, das dann am Computer in ein dreidimensionales Bild umgerechnet wird. CT-Scans von Koprolithen (Abb. 4) wurden bisher nicht durchgeführt. Es war deshalb unklar, ob überhaupt genügend Kontrast zwischen der Grundmasse und eventuell enthaltenem Knochenmaterial von Beutetieren zum Erzeugen eines Bilds vorhanden ist. Für den Versuch wählten wir deshalb einen Koprolithen aus, von dem wir bereits wussten, dass er zumindest einen Knochen enthält (Abb. 5).

### Der gläserne Koprolith

Die gescannten Bilder zeigen einen feinen Kontrast zwischen der Grundmasse des Koprolithen und dem Knochengewebe. Es war deshalb für die Computerrekonstruktion möglich, die Grundmasse herauszurechnen

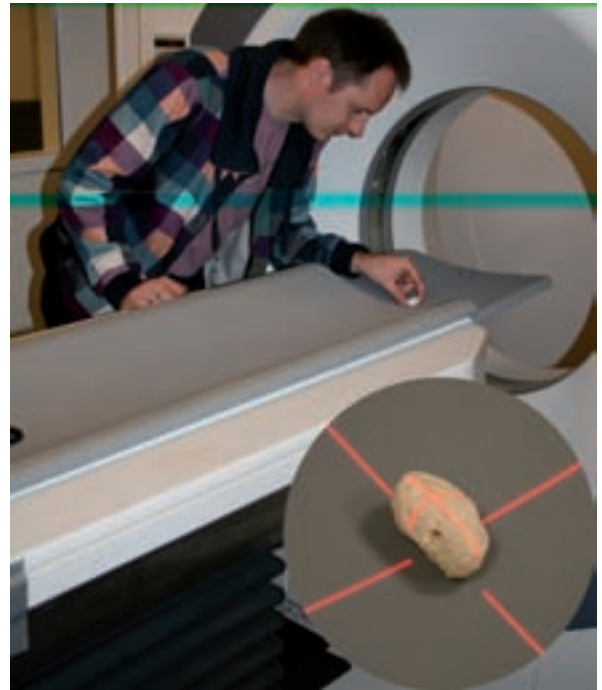
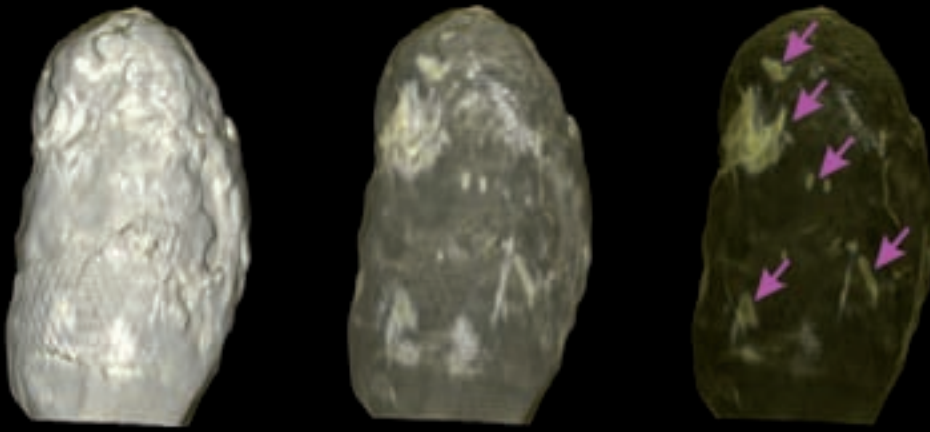


Abb. 4: Jesper Milán platziert den Koprolith im CT-Scanner (Siemens Somatom +4 MDCT-Scanner) des Instituts für forensische Medizin der Universität Kopenhagen. Foto: J. Milán.



Abb. 5: Der untersuchte Koprolith. Gut erkennbar ist der eingeschlossene Fischwirbel. Maßstab 1 cm, Foto: J. Milán.

und nur das Absorptionsspektrum des Wirbels wiedergeben (Abb. 6-7). Dabei stellte sich heraus, dass der Wirbel komplett vorhanden und dreidimensional erhalten ist. Er ist zylindrisch und besitzt an beiden Enden tiefe, trichterförmige Einbuchtungen. Anzeichen eines verschmolzenen Neuralbogens oder von Wirbelfortsätzen konnten nicht entdeckt werden. Diese Form ist typisch für die Wirbel von Knochenfischen. Die dreidimensionale Computerrekonstruktion zeigte



**Abb. 6:** Scanbilder des Koprolithen. Links Oberfläche, Mitte Röntgenbild und rechts Röntgenbild, bei dem die Grundmasse rechnerisch entfernt wurde. Die Pfeile auf dem rechten Bild zeigen auf die einzelnen Knochenreste im Inneren des Koprolithen. Foto: B. W. Rasmussen.

weitere grätenförmige Knochen und Knochen splitter, die jedoch anhand des Rekonstruktionsbildes nicht bestimmbar sind.

Die Computertomographie enthüllte neben den kleinen Knochen noch eine weitere, von außen nicht erkennbare Besonderheit des Koprolithen. In den Schnittlagen zeigten sich verschiedene linienartige Strukturen, die sich in der dreidimensionalen Darstellung als drei konzentrische Lagen erwiesen haben. Sie können zwar nicht durch den ganzen Koprolithen hindurch verfolgt werden, sind jedoch in einer seiner Hälften sehr gut erkennbar (Abb. 8 links). Die Lagen haben eine Dicke von je etwa zwei Millimetern. Jede äußere Lage umschließt die innere vollständig.

### Von wem stammt der Koprolith?

Die Zuordnung von Spurenfossilien zu einem bestimmten Erzeuger ist generell nur in Ausnahmefällen möglich. Eine Eingrenzung der möglichen Erzeuger kann und sollte aus paläoökologischen Gründen jedoch stets versucht werden.

Der untersuchte Koprolith stammt zweifellos von einem Wirbeltier. Fischkoprolithen sind normalerweise mehr oder weniger spiralförmig (z.B. Northwood 2005). Aufgrund des komplex aufgebauten Spiraldarms von Haien produzieren diese so genannte heteropolare Koprolithen. Diese sind ebenfalls spiralförmig und besitzen viele, eng stehende Umgänge, die an einem Ende konzentriert sind (Neu-

**Abb. 7:** Der Fischwirbel im Inneren des Koprolithen und weitere kleine, unbestimmbare Knochenreste nach der rechnerischen Entfernung der Grundmasse. Foto: B. W. Rasmussen.



mayer 1904). Haie und andere Fische scheiden auf Grund der Umrissform als mögliche Erzeuger wahrscheinlich aus.

Koprolithen von Krokodilartigen haben typischerweise eine länglich-zylindrische Form und sind auf ihrer Unterseite leicht abgeflacht. Die Exkreme werden als mehr oder weniger kurze Schnüre ausgeschieden, die in kleine Segmente unterteilt sind. Die einzelnen Segmente greifen mit ihrer konkaven und konvexen Enden ineinander. Gleiche Formen werden aber auch von Tieren erzeugt, die dieselbe Ernährungsweise wie Krokodile haben. Die Form des untersuchten Koprolithen scheint also zunächst für ein Krokodil als Erzeuger zu sprechen. Hingegen spricht der Inhalt des Koprolithen wiederum gegen ein Krokodil. Krokodile haben nämlich sehr kräftige Magensäfte – die Säurekonzentration ist fünfzig Mal höher als bei fleischfressenden Säugetieren. Die Magensäuren entziehen den gefressenen Knochen sämtlichen Kalk und lösen sie vollständig auf, bevor der Verdauungsabfall ausgeschieden wird (Fisher 1981). Untersuchungen des Magen-Darmtrakts heutiger Meeresschildkröten, wie z. B. der Unechten Karettschildkröte (*Caretta caretta*), ergaben, dass Fischknochen durchaus in ihrem Kot erhalten bleiben können (Plotkin et al. 1993). Aus der Oberkreide von Queensland in Australien kennt man Mageninhalte fossiler Meeresschildkröten. Diese zeigen einen hohen Anteil an Muschelschalen, die kaum durch die Magensäure angelöst wurden (Kear 2006). Zusätzlich besitzen die Koprolithen derselben Fundstelle ein ähnliches Aussehen wie unser Untersuchungsobjekt. Interne Koprolithenstrukturen wurden bei den australischen Funden bisher nicht untersucht. Nach diesen Überlegungen können wir im vorliegenden Fall den Erzeuger zwar nicht mit letzter Sicherheit angeben, eine Meeresschildkröte erscheint uns aber als der wahrscheinlichste Kandidat.

## Literatur

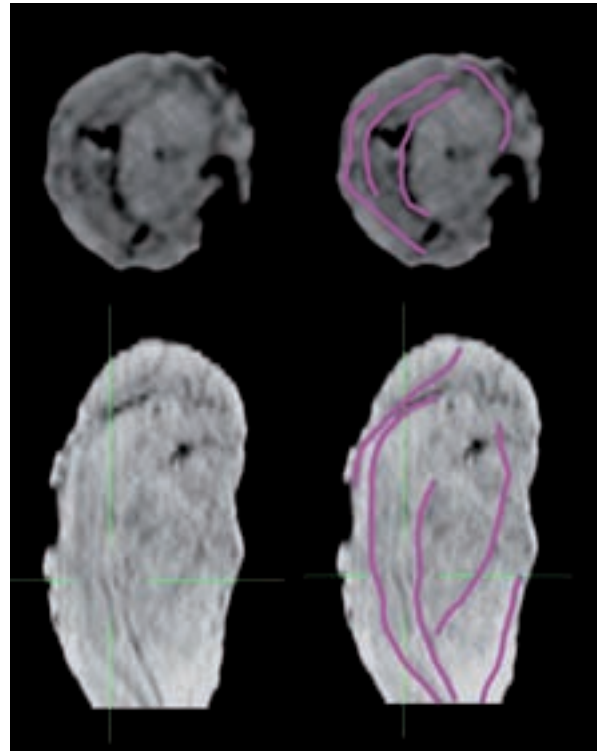
Fisher, D. F. (1981): Crocodylian scatology, microvertebrate concentrations, and enamel-less teeth. *Paleobiol.* 7: 262-275.

**Jesper Milàn**, Jg. 1974, ist Kurator des Geomuseums Faxø. Er beschäftigt sich vor allem mit Spurenfossilien von Wirbeltieren und der regionalen Geologie und Paläontologie von Ostseeland.

**Bo W. Rasmussen**, Jg. 1979, Bachelor in Radiographie, Bachelor in Geologie, arbeitet zur Zeit an seiner Masterarbeit über Spurenfossilien in Faxø. Zusätzlich ist er Kuratorassistent am Geomuseum Faxø.

**Niels Lynnerup**, Jg. 1960, ist Professor für forensische Anthropologie am Panum Institut der Universität Kopenhagen.

**Lothar H. Vallon**, Jg. 1978, ist freier Mitarbeiter am Geomuseum Faxø. Er beschäftigt sich mit den Spurenfossilien von Wirbellosen sowie der regionalen Geologie und Paläontologie von Dänemark und Süddeutschland.



**Abb. 8:** Quer- (oben) und Längsschnitt (unten) durch den Koprolithen mit innerer Zonierung (zur Verdeutlichung auf den rechten Bildern nachgezeichnet). Foto: B. W. Rasmussen.

Kear, B. P. (2006): First gut contents in a Cretaceous sea turtle. *Biol. Lett.* 2: 113-115.

Milàn, J. (2010): Coprolites from the Danian limestone (Lower Paleocene) Faxø Quarry, Denmark. *New Mexico Mus. Nat. Hist. Sci. Bull.* 51: 215-218.

Neumayer, L. (1904): Die Koprolithen des Perms von Texas. *Palaeontographica* 51: 121-128.

Northwood, C. (2005): Early Triassic coprolites from Australia and their palaeobiological significance. *Palaeontology* 48: 49-68.

Plotkin, P. T., M. K. Wicksten & A. F. Amos (1993): Feeding ecology of the loggerhead sea turtle *Caretta caretta* in the Northwestern Gulf of Mexico. *Mar. Biol.* 115: 1-5.

Vallon, L. H. (im Druck): Digestichnia (Vialov, 1972) – an almost forgotten ethological class for trace fossils. *New Mexico Mus. Nat. Hist. Sci., Bull.* (im Druck).

Vallon, L. H. & Milàn, J. (2011): Das Geomuseum Faxø: Ein Fenster zum Danium-Meer. *Fossilien* 28: 185-188.