

**Zeitschrift:** Frick - Gestern und Heute  
**Herausgeber:** Arbeitskreis Dorfgeschichte der Gemeinde Frick  
**Band:** 14 (2022)

**Artikel:** Die Feinstruktur von Saurierknochen  
**Autor:** Foelix, Rainer F. / Scheyer, Torsten M. / Klein, Nicole  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1005848>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

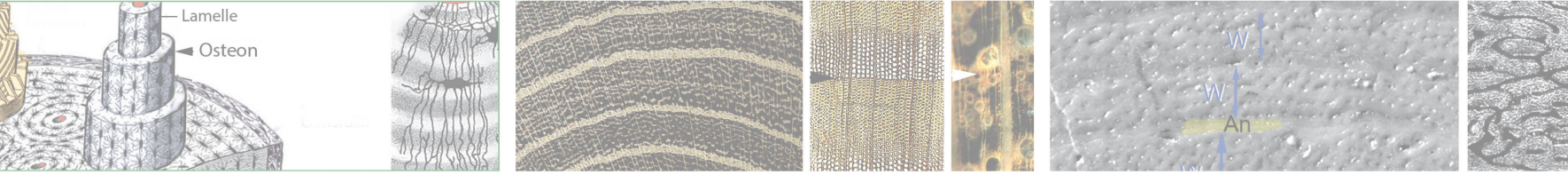
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 03.05.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**



# Die Feinstruktur von Saurierknochen

Was uns an Saurierknochen sicher zuerst beeindruckt, ist zu- meist ihre enorme Grösse. Aus Sicht der Wissenschaft noch beeindruckender ist die gute Strukturhaltung dieser Kno- chen. Schon von blossen Auge ist die typische Knochen- struktur oft gut erkennbar – deshalb hat auch Ernst Wälchli, damaliger Laborchef der Tonwerke Keller, die ersten gefunde- nen Knochenstücke in der Tongrube Frick als solche erkannt (1961). Dass es sich dabei um Saurier-, genauer gesagt Pla- teosaurier-Knochen handelte, konnten dann Experten von der Universität Zürich bestimmen.

Der gute Erhaltungszustand der Knochen – selbst nach über 200 Millionen Jahren – zeigt sich aber nicht nur makrosko- pisch, sondern bis hinunter auf die mikroskopische Ebene. Genauere Untersuchungen der fossilen Knochenstruktur ge- statten auch Rückschlüsse auf das Leben der Dinosaurier, etwa wie alt die Tiere wurden, wie rasch sie gewachsen sind und wann sie ausgewachsen waren. Bevor wir auf die Fein- struktur von Plateosaurier-Knochen näher eingehen, wollen wir zunächst den typischen Wirbeltier-Knochen am Beispiel des Menschen beschreiben. Dabei werden wir sehen, dass sich die Struktur unserer heutigen Knochen nur wenig von den uralten Saurierknochen unterscheidet.

## Menschlicher Knochen

---

Unsere Knochen machen ca. 10% unseres Körpergewichts aus. Etwa 45% des Knochens entfallen auf feste, mine- ralische Anteile (vor allem Calciumphosphat), ca. 30% sind organisch (vor allem Bindegewebe = Kollagen) und ca. 25% sind Wasser (allerdings schwanken diese Werte,

je nach untersuchtem Knochen). Dank der Kollagenfasern sind Knochen im lebenden Zustand keineswegs starre Ge- bilde, sondern zeigen bei Belastung eine gewisse Nach- giebigkeit bzw. Elastizität. Wenig bekannt ist die Tatsache, dass unsere Knochen zeitlebens ständig umgebaut werden (siehe unten), man spricht auch von einer kontinuierlichen Knochen-«Remodellierung». Dadurch kommt es beim Men- schen innerhalb von 8 Jahren zu einem völligen Ersatz un- serer ursprünglichen Knochensubstanz.

**Knochenaufbau** Die Knochen aller heutigen aber auch aller ausgestorbenen Wirbeltiere sind nach dem gleichen Prinzip aufgebaut. Aussen ist ein Knochen von einer kräftigen Kno- chenhaut (Periost) überzogen, welche das Knocheninnere über Blutgefässe mit Sauerstoff und Nährstoffen versorgt (Abb. 1). Die darunter liegende äussere Knochenschicht (Compacta) ist relativ dick und kompakt, während weiter nach innen eine lockere, schwammartige Schicht (Spongio- sa) folgt. Ganz innen, gegen die zentrale Markhöhle, über- zieht dann eine dünnere, innere Knochenhaut (Endost) die Spongiosa.

**Feinstruktur** Auf mikroskopischer Ebene besteht das zel- luläre Knochengewebe aus einem Netzwerk von Knochen- zellen (Osteocyten), die in die Knochengrundsubstanz (Matrix) eingelagert sind (Abb. 2). Jede Knochenzelle ist spindelförmig und besitzt lange, feine Zellfortsätze, welche mit den benachbarten Knochenzellen in Verbindung stehen; sie sorgen für die ständige Erhaltung der Knochensubstanz. Die Matrix besteht hauptsächlich aus zwei Komponenten, nämlich der mineralischen Hartschicht (Hydroxylapatit, ein Calciumphosphat) und den organischen Bindegewebs- fasern (Kollagen). Beide Komponenten zusammen bilden den Grundbaustein eines menschlichen Knochens, ein sog.

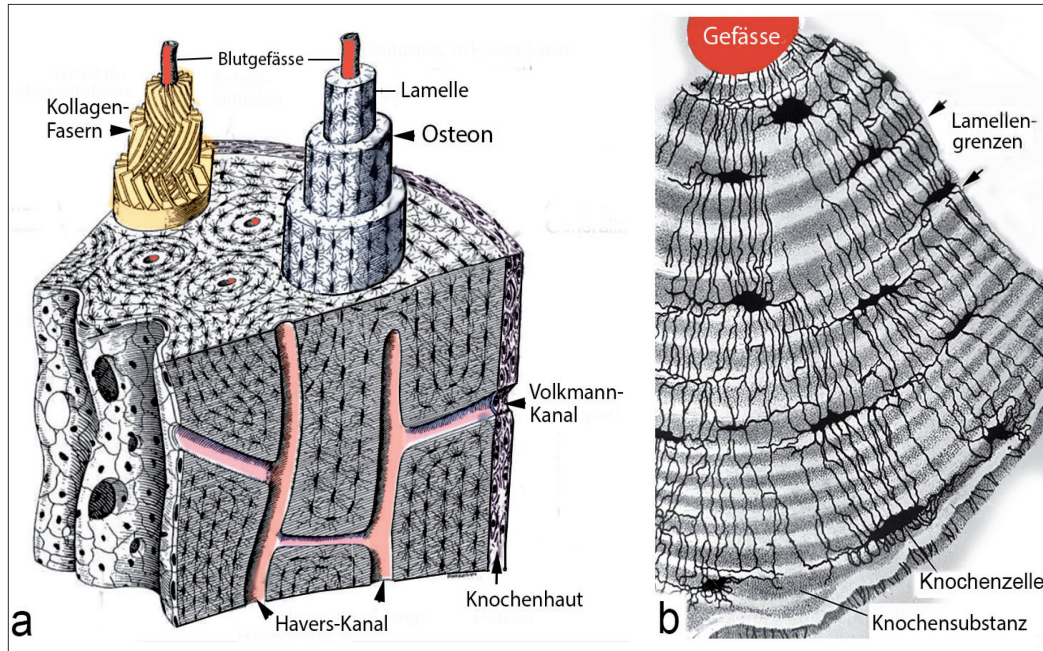


Abb. 1 Mikroskopische Struktur des menschlichen Knochens.

a) Das Blockdiagramm zeigt die Grundbausteine, sog. Osteone, als kleine, nebeneinander liegende Zylinder. Jedes Osteon enthält im Zentrum einen Kanal (Havers Kanal) mit Blutgefäßen und ist umgeben von konzentrischen Knochenlamellen. In jeder Lamelle verlaufen Kollagenfasern in schraubiger Anordnung (links oben). (Nach Schiebler & Schmidt 1997).

b) Querschnitt durch ein Osteon (Ausschnitt) bei stärkerer Vergrößerung. An den Grenzen der Knochenlamellen (Pfeile) liegen stark verzweigte Knochenzellen; sie sind durch feine Kanälchen resp. Zellfortsätze miteinander verbunden. (Nach Bloom & Fawcett 1968).

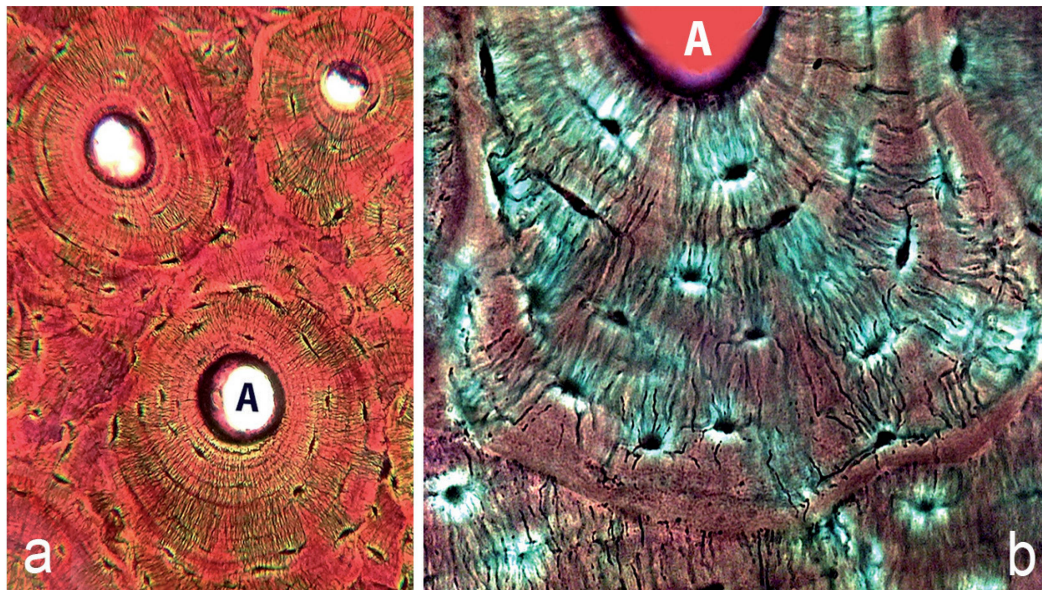


Abb. 2 Histologische Querschnitte menschlicher Knochen.

a) Drei Osteone mit zentralem Havers Kanal (A), umgeben von rot eingefärbten Knochenlamellen. Die Knochenzellen und ihre Fortsätze erscheinen hier schwarz.

b) Starke Vergrößerung einer Osteon-Hälfte. Deutlich treten die radial ausgerichteten Fortsätze der spindelförmigen Knochenzellen hervor. Die Knochensubstanz ist grün und violett angefärbt.

Osteon. Darin liegt im Zentrum ein Kanal (Havers-Kanal) für Gefässe und Nervenfasern, der von konzentrischen Knochenlamellen umhüllt wird. Die im Knochen längs verlaufenden Havers-Kanäle sind zudem durch quer verlaufende Kanäle (Volkmann Kanäle) miteinander verbunden.

Von «sekundären» Osteonen spricht man, wenn der lamelläre Knochen nach Ab- und Umbau von «primären» Osteonen abgelagert worden ist. In beiden Fällen umgibt der Lamellenknochen die Blutgefässe konzentrisch, aber bei primären Osteonen geschieht die Ablagerung von den Blutgefässen weg (nach aussen), bei den sekundären Osteonen dagegen

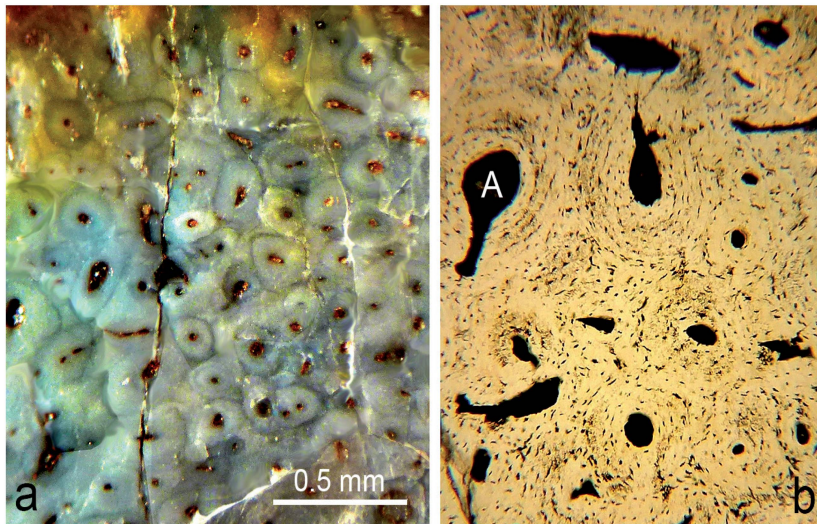


Abb. 3 Plateosaurier-Knochen im Querschnitt.  
a) Ein quer gebrochenes Knochenstück zeigt schon bei Lupevergrösserung den Aufbau aus vielen (bläulichen) Osteonen. In deren Zentrum liegen die (braunen) Blutkanäle, in denen vor 200 Mio Jahren das Saurierblut floss.  
b) Im Dünnschliff und bei etwas stärkerer Vergrösserung sieht man neben den Blutkanälen (A) auch die konzentrischen Lamellen mit den kleinen Knochenzellen (schwarze Punkte).

von aussen nach innen. Diese Unterscheidung ist wichtig, um zum Beispiel Alterungsprozesse festzustellen.

Für die Neubildung von Knochen liegen vor allem am Knochenrand spezielle Knochenbildungs-Zellen (Osteoblasten), die zunächst unverkalkten Knochen (Osteoid) abscheiden, der erst später durch eingelagertes Calciumphosphat hart und stabil wird. Auf der Gegenseite gibt es aber auch «Knochenfresszellen» (Osteoclasten), welche die bestehende ältere Knochensubstanz enzymatisch abbauen (Resorption). Das Wechselspiel zwischen Osteoblasten und Osteoclasten sorgt für einen ständigen dynamischen Umbau der Knochensubstanz. Unser lebender Knochen ist gewissermassen eine «Dauerbaustelle». Dies hat übrigens den grossen Vorteil, dass gebrochene Knochen wieder zusammenwachsen, beziehungsweise regenerieren können.

### Saurierknochen

Wenn man in der Fricker Tongrube auf Knochenstücke von Plateosauriern stösst, so kann man sie oft schon von Auge an ihrer typischen Struktur erkennen, bei Rippen zum Beispiel an der festen Aussenschicht und einer schwammartigen Innenschicht der Knochenwand. Selbst auf mikroskopischer Ebene ist die Knochenstruktur hervorragend erhalten und weist alle die Elemente auf, die oben für den heutigen Wirbeltierknochen beschrieben wurden. So sieht man schon bei starker Lupevergrösserung den Aufbau aus Osteonen (Abb. 3a), mit den zentralen Blutgefässen. Dabei erscheint die Knochengrundsubstanz bläulich-grün, vermutlich verursacht durch wasserhaltiges Eisenphosphat (Vivianit) oder auch durch

Mangan-Verbindungen. Dagegen ist das feine Röhrensystem, in welchem die Blutgefäße lagen, rot-braun gefärbt, zum Beispiel durch Ausfällungen von Schwefelkies (Pyrit).

Um weitere Details in Saurierknochen erkennen zu können, muss man dünne Knochenstücke unter dem Mikroskop untersuchen. Hierzu braucht es einigen technischen Aufwand, d.h. man muss relativ dicke Knochenscheiben in Kunststoff einbetten, auf ein Glasplättchen kleben, und dann die Knochenscheibe so lange abschleifen, bis sie durchsichtig wird (dünner als 0.1 mm). Danach lässt sich ein solcher «Knochen-Dünnschliff» genauso mikroskopieren wie Knochen-Dünnschnitte heutigen Knochens. Schon bei relativ geringer Vergrößerung werden dann die konzentrischen Knochenlamellen um die zentralen Blutkanäle deutlich sichtbar, und bei starker Vergrößerung auch die verzweigten Knochenzellen (Osteocyten; Abb. 3b).

Genau besehen sind natürlich die ursprünglichen Knochenzellen im versteinerten Knochen nicht mehr vorhanden, aber die Hohlräume, in denen früher diese Knochenzellen lagen, wurden im Laufe der Fossilisation mit dunklen Mineralien ausgefüllt und heben sich deshalb scharf von der umgebenden Knochensubstanz ab. Dies gilt auch für die ganz feinen Knochenzellkanälchen (Canaliculi), welche einst die Verbindung zwischen den einzelnen Knochenzellen bildeten. Obwohl diese Kanälchen extrem dünn sind ( $< 1 \mu = 1/1000 \text{ mm}$ ) lassen sie sich bei starker Vergrößerung wegen ihrer dunklen Ausfüllung deutlich darstellen (Abb. 4). Die Knochenzellen (Osteocyten) scheinen dabei in zwei verschiedenen Formen aufzutreten, entweder als rundlich-ovale Zellen mit radial ausstrahlenden Fortsätzen (Abb. 4b, c) oder als lange spindelförmige Zellkörper mit parallel ausgerichteten Fortsätzen (Abb. 4 d, e).

Für den Laien mögen solche Unterschiede bedeutungslos sein, aber für die Spezialisten in der Saurierforschung sind sie durchaus interessant, weil sie wichtige Hinweise z. B. zur

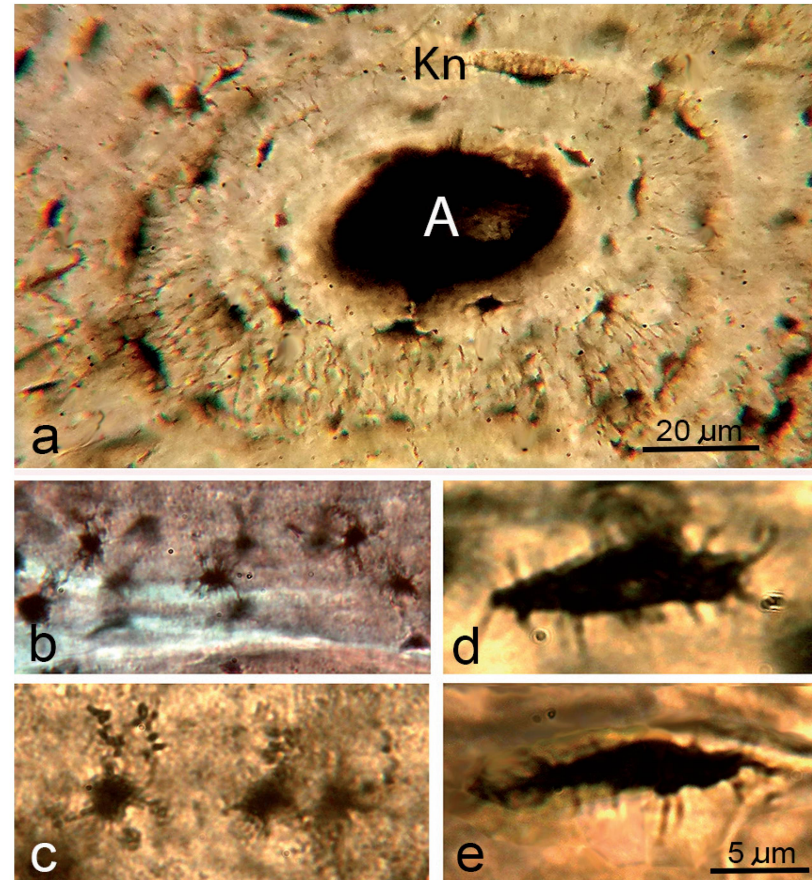


Abb. 4 Knochenzellen in Plateosaurier-Knochen (Querschnitte). a) Der zentrale Kanal (A) wird ringförmig von Lamellen mit Knochenzellen (Kn) umgeben. Genau genommen sieht man hier nur die Hohlräume in der Knochensubstanz, in denen einst die Knochenzellen lagen. Im Lauf der Zeit wurden diese mit schwarzem Gesteinsmaterial gefüllt, ebenso die Kanälchen zwischen den Knochenzellen. b, c) Die meisten Knochenzellen besitzen einen kugligen Zellkörper mit vielen Fortsätzen nach allen Seiten. d, e) Andere Zellen sind spindelförmig und besitzen senkrecht ausstrahlende Fortsätze.

Wachstumsgeschwindigkeit der Knochenmatrix geben. Die organischen Kollagenfasern werden nach dem Tod ebenso wie die Knochenzellen und Blutgefässe relativ rasch abgebaut. Trotzdem lassen sich die Kollagenfasern auch im fossilen Knochen noch indirekt nachweisen, weil an diese parallel verlaufenden Fasern winzige Apatit-Kristalle angelagert sind. Bei starker Vergrösserung (im Elektronenmikroskop) entsteht dadurch eine typische Querbänderung, die auch im heutigen Bindegewebe (Kollagen) ganz ähnlich ausgeprägt ist.

Ein auffälliges Merkmal vieler Saurierknochen sind regelmässige dünne Schichten innerhalb des Cortex. Sie erinnern stark an die typischen Jahrringe von querschnittenen Baumstämmen (Abb. 5). Solche Ringe entsprechen einem regelmässigen Wechsel von raschem Wachstum im Frühjahr, bzw. einen Wachstumsstillstand im Herbst und Winter. Ganz ähnlich lassen sich auch die regelmässigen Lagen in Saurierknochen als Wachstumszonen interpretieren (Abb. 6). Ob diese ebenfalls in einem jährlichen Rhythmus abgelagert wurden, erscheint wahrscheinlich, ist aber nicht gesichert. Auch kli-

matische Einflüsse wie längere Kaltwetterperioden oder ein vermindertes Nahrungsangebot könnten zu einem Wachstumsstopp geführt haben.

Bei genauerer Betrachtung der Wachstumszonen erkennt man eine Dreiteilung der jährlichen Wachstumszyklen: Eine innere breite Zone (mit vielen Blutgefässen), darüber ein schmaler Ring, der sogenannte Annulus (mit wenigen Blutgefässen) und schliesslich eine dünnere, homogene Schicht (praktisch ohne Blutgefässe). Die innere Zone entspricht einer längeren und schnellen Wachstumsphase, der Annulus dagegen einer kurzen Phase geringen Wachstums, und die dünne Linie einem stark reduzierten Wachstum, bzw. einem Wachstumsstopp. Solche «Stillstandslinien» werden in der Fachwelt zumeist mit LAG umschrieben, der englischen Abkürzung für Lines of Arrested Growth. Die Anzahl und Abfolge (Abstand) der LAGs geben gute Hinweise auf das Alter eines Individuums, eventuell auch wann die sexuelle Reife erreicht wurde, oder auch wie alt das Tier zum Zeitpunkt seines Todes war.

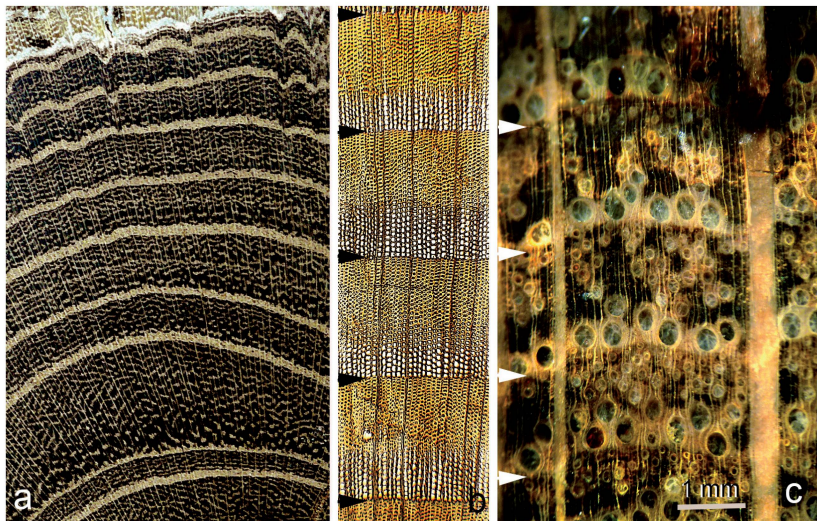


Abb. 5 Querschnitte von Baumstämmen zeigen periodische Wachstumsphasen in Form von Jahrringen.

a) Ausschnitt aus einer Baumscheibe (Goldregen) mit breiten dunklen Bändern, die im Frühjahr/Sommer gebildet wurden, und schmalen weissen Bändern, welche das langsame Wachstum im Herbst anzeigen.

b) Mikroskopisches Bild von 5 Jahrringen im Fichtenholz. Die schwarzen Pfeilspitzen zeigen jeweils die Grenzen zwischen dem rasch wachsenden Frühjahrsholz (hell) und dem langsam wachsenden Spätholz (dichte gelbe Regionen) im Herbst.

c) Selbst in versteinertem Holz sind die Jahrgrenzen (weisse Pfeilspitzen) noch deutlich zu sehen. Die grossen hellen Gefässe entsprechen dem Frühjahrsholz.

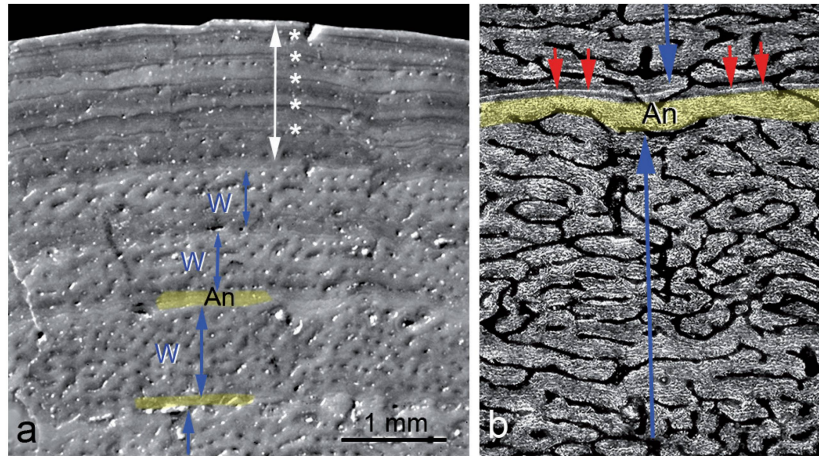


Abb. 6 Oberschenkelknochen (Femur) von *Plateosaurus* im Querschnitt.

- a) In diesem Anschliff sind deutlich parallele Knochenschichten erkennbar, die periodischen Wachstumszonen (W) entsprechen. Dazwischen liegen schmale Ringzonen (Annuli, An) in denen kaum Wachstum stattfand. In der Randzone (weisser Doppelpfeil) liegen die Wachstumslinien (LAGs, weisse Sternchen) eng übereinander; sie deuten ein Wachstumsende an.
- b) Stärkere Vergrößerung eines Querschliffes unter dem Mikroskop. Eine Stillstandslinie ist durch rote Pfeilspitzen markiert; darunter liegt eine gelb eingefärbte Ringzone (An), in der das Wachstum bereits stark reduziert war.

Heute weiss man, dass Dinosaurier relativ rasch gewachsen sind und selbst sehr grosse Formen waren innerhalb von 20 bis 30 Jahren ausgewachsen. Ihre Wachstumsgeschwindigkeit war sicher höher als bei den meisten anderen Reptilien, auch wenn das rasche Wachstum von Vögeln und vielen Säugern wohl nicht ganz erreicht wurde. Ob die Dinosaurier wirklich Warmblütler waren, wie dies von einigen Autoren angenommen wird, ist keineswegs sicher und wird wohl noch längere Zeit diskutiert werden.

In diesem Zusammenhang sei hier kurz erwähnt, dass Saurierknochen bereits vor 150 Jahren mikroskopisch untersucht wurden. Schon damals wurde erkannt, dass deren Struktur praktisch gleich aussieht wie unser heutiger Knochen. Diese ganz frühen Beobachtungen gerieten allerdings lange in Vergessenheit und erst ab 1950 interessierten sich vermehrt verschiedene Forschergruppen wieder für die Feinstruktur von Saurierknochen. Umfangreiche vergleichende Studien erlaubten auch Rückschlüsse auf den Stoffwechsel und die Wachstumsgeschwindigkeit dieser Knochen. So folgerte man aus der starken Ausbildung von Blutgefässen auf einen relativ hohen Stoffwechsel. Daraufhin wurde erstmals in Betracht gezogen, ob die Dinosaurier eventuell warmblütig waren – damals (1980) eine gewagte Vorstellung, galten doch Reptilien als «kaltblütig» und eher langsam und schwerfällig. Ab 1990 arbeiteten dann mehrere Gruppen weltweit an der Feinstruktur von Saurierknochen und bald wurde klar, dass Dinosaurier viel rascher gewachsen sind als etwa die heutigen Reptilien. Durch Vergleich der Knochen von verschiedenen Altersstadien innerhalb einer bestimmten Saurierart (*Massospondylus*), konnte 1993 erstmals eine zuverlässige Wachstumskurve gezeichnet werden, und einige Jahre später (2005) auch für *Plateosaurus*. Darin liess sich mit Hilfe der histologischen Befunde aus den Knochendünnschliffen das Alter und die Geschlechtsreife abschätzen, und wann das Tier ausgewachsen war, eventuell auch das maximale Lebensalter.

In den letzten Jahren wurden solche Studien mit einer Vielzahl modernster Methoden ergänzt, etwa mit Röntgenstrukturanalyse, Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie, Computertomographie (CT) und Mikro-Computertomographie ( $\mu$ -CT). Wir haben die  $\mu$ -CT -Methode kürzlich auch an Knochenstücken der Fricker *Plateosaurus* ausprobiert, in der Hoffnung neue Erkenntnisse im Mikrometerbereich zu erzielen.

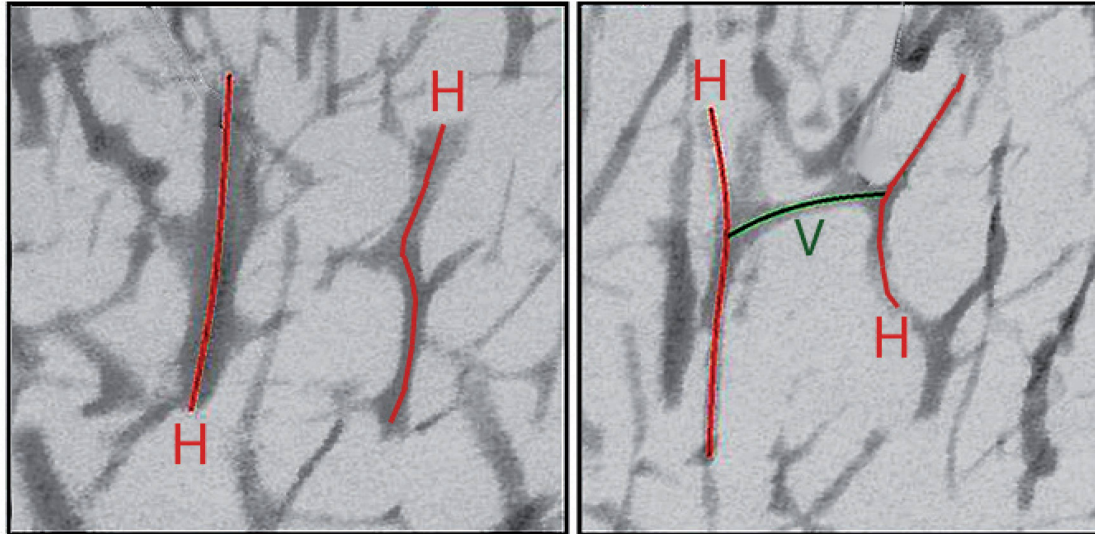


Abb. 7 Mittels Mikro-Computer-Tomographie lässt sich die räumliche Verteilung der feinen Blutgefäße im Saurierknochen darstellen (Längsschnitt). Die senkrecht verlaufenden Kanälchen entsprechen den Havers Kanälen (H). Im rechten Bild sind zusätzliche Querverbindungen (Volkmann Kanal) zu sehen (CT-Daten Thomas van de Kamp, Auswertung Alain Fauqueux).

Leider waren wir bislang nur beschränkt erfolgreich, d.h. wir konnten zwar die räumliche Verteilung der Gefäßkanäle gut erfassen (Abb. 7), aber für die erhoffte Darstellung von Knochenzellen reichte die Auflösung nicht aus. Allerdings gibt es hierzu in der neueren Literatur Ergebnisse von anderen Saurierarten, die sicher auch für die Plateosaurier zutreffen. So gelang es durch die Kombination vieler elektronenmikroskopischer (oder auch  $\mu$ -CT) Bilder aus verschiedenen Ebenen ganze Knochenzellen samt Fortsätzen räumlich darzustellen (sog. «stacking»). Noch erstaunlicher war der Befund, dass selbst DNA in diesen Knochenzellen nachweisbar sei. Der Beweis hierfür ist allerdings noch umstritten, denn die Erhaltung von organischem Material in Fossilien, noch dazu nach Hundert Millionen von Jahren, erscheint derzeit als sehr fraglich. Trotzdem sind in Zukunft durch eine Kombination von histologischen und modernen molekularen Methoden neue Einsichten zur Erhaltung von organischer Substanz in Saurierknochen zu erwarten. Tatsächlich wurden bereits Blutgefäße, Blutzellen und Kollagen in entkalkten Knochen von Tyrannosaurus beschrieben, doch leider nur von einer

einzigsten Forschergruppe (Dr. Mary Schweitzer, USA); eine Bestätigung durch andere, unabhängige Laboratorien steht hier noch aus.

Erst in den letzten drei Jahrzehnten haben sich etliche Forschergruppen näher mit der fossilen Knochenfeinstruktur befasst. Mit modernen Techniken in der Licht- und Elektronenmikroskopie, aber auch mit neuen computer-tomographischen Methoden im Nano-Bereich will man künftig weiteren Geheimnissen der Lebensweise von Dinosauriern auf die Spur kommen. Hierzu leisten auch die Plateosaurier-Funde aus Frick einen wichtigen Beitrag, werden doch deren Knochen seit über 20 Jahren von der Arbeitsgruppe um Prof. M. Sander (Universität Bonn) eingehend untersucht. Da in der Fricker Tongrube weiterhin systematisch Plateosaurier-Skelette und Knochen ausgegraben werden, darf man auf weitere neue Ergebnisse gespannt sein.

Dr. Rainer F. Foelix  
 Prof. Dr. Torsten M. Scheyer  
 Dr. Nicole Klein

