

Unerhört: Konvergenz eines Schlüsselmerkmals

Mehrfache Entstehung der Gehörknöchelchen der Säugetiere?

Ein neuer Fossilfund eines Kloakentiers (Untergruppe der Säugetiere) zeigt deutliche Hinweise darauf, daß bei dieser Art die säugertypischen Gehörknöchelchen Hammer, Amboß und Steigbügel nicht ausgebildet waren. Daraus muß gefolgert werden, daß diese Konfiguration, die als eines der wichtigsten Schlüsselmerkmale der Säugetiere betrachtet wird, mindestens zweimal unabhängig (konvergent) entstanden ist. Beispiele wie dieses unterminieren den Indiziencharakter von Homologien für Makroevolution.

Gehörknöchelchen als Schlüsselmerkmal. Die drei Gehörknöchelchen Hammer (Malleus), Amboß (Incus) und Steigbügel (Stapes) leiten im Mittelohr der Säugetiere die Schwingungen des Trommelfells zum ovalen Fenster des Innenohrs (Abb. 1). Dabei werden niedrige Drücke und hohe Auslenkungen am Trommelfell in hohe Drücke und niedrige Auslenkungen am ovalen Fenster umgesetzt. Nahezu die gesamte Schalleistung im Gehörgang wird an das Innenohr weitergegeben – eine phantastische Konstruktion.

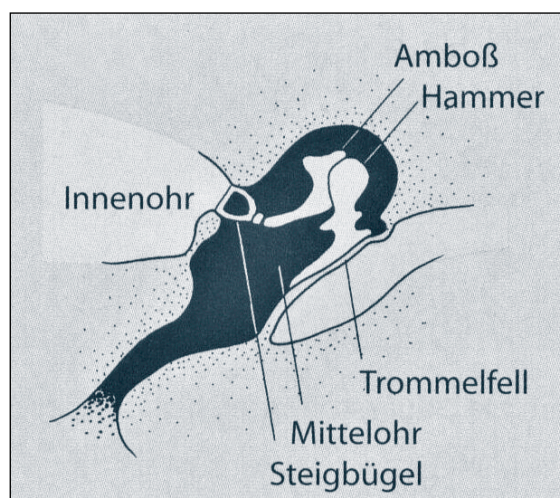
Diese drei Gehörknöchelchen galten lange als ein charakteristisches Merkmal (Schlüsselmerkmal) aller Säugetiere. Nach evolutionstheoretischen Vorstellungen leiten sich zwei von ihnen von Knochen her, die bei Reptilien das Kiefergelenk bilden (Quadratum und Articulare). Die Auswanderung der beiden Kiefergelenkknochen ins Mittelohr, wo sie bei den Säugetieren zu Hammer und Amboß geworden sein sollen, gilt als einer der erstaunlichsten evolutiven Vorgänge. Befunde sowohl aus der Embryologie als auch aus der Paläontologie sollen diesen Übergang schlüssig belegen. Doch stehen dem schwerwiegende Argumente entgegen,

was aber nicht das Thema dieses Beitrags ist (vgl. dazu JUNKER & SCHERER 2001, S. 190f. und S. 227f.). Alle drei heutigen Untergruppen der Säugetiere – die Kloakentiere (Monotremata), Beuteltiere (Marsupialia) und Plazentatiere (Placentalia) – besitzen diese charakteristischen Knöchelchen.

Das Mittelohr der Säugetiere ist ein komplexes Organ. Seine Umbildung – von reptilischen Vorfahren ausgehend – erfordert als Hauptschritte die Entstehung eines „sekundären“ Squamosum-Dental-Gelenks, die Ablösung des Artikulare vom Unterkiefer und des Quadratum vom Schädel und ihre Verlagerung ins Mittelohr mit Etablierung als Hammer und Amboß. Außerdem muß sich das Angulare aus dem Unterkiefer lösen, um als tympanischer Knochen, der das Trommelfell hält, mit dem Schädel zu verwachsen. Zusätzlich müssen zahlreiche weitere knöcherne, knorpelige, bindegewebige, muskuläre und nervale Veränderungen *parallel* mit diesem Umwandlungsprozeß einhergehen. Kein Wunder also, daß eine mehrfache unabhängige Bildung des säugertypischen Mittelohrs als extrem unwahrscheinlich galt und daß es als deutlich abgegrenztes Schlüsselmerkmal der Säugetiere betrachtet wurde. Der Bau des Säuger-Mittelohrs ist so komplex und einzigartig, daß einige Forscher die Ablösung der Mittelohrknochen vom Kiefer sogar als wichtigstes abgeleitetes Merkmal (Synapomorphie) der heutigen Säugetiere betrachten (MARTIN & LUO 2005, 861).

Die Mittelohrknochen Hammer, Amboß und Steigbügel verlieren ihre Bedeutung als charakteristisches Kennzeichen der Säugetiere.

Abb. 1: Die berühmten drei Gehörknöchelchen der Säugetiere.



Unerwarteter Fossilfund. Ein von RICH und Mitarbeitern beschriebenes Fossil erzwingt nun aber eine neue Sicht. Der Unterkiefer des kürzlich entdeckten, bisher ältesten bekannten Kloakentiers *Teinolophos trusleri* (Obere Unterkreide; auf 115 Millionen Jahre datiert; Abb. 2) war ähnlich gebaut wie reptilische Formen, die als stammesgeschichtliche Vorläufer der Säugetiere gelten. Während die Säugetiere (einschließlich der Kloakentiere) nur *einen* Unterkieferknochen (das Dentale) besitzen, gibt es deutliche Hinweise darauf, daß *Teinolophos* noch weitere Unterkieferknochen besaß – erkennbar an entsprechenden Ansatzflächen (Facetten)

an der Innenseite des Dentale (vgl. Abb. 2). Daraus kann auf das Vorhandensein der reptilischen Unterkieferknochen Angulare, Artikulare und Praeartikulare geschlossen werden. Praeartikulare und Artikulare sind bei den Säugern zum Hammer verschmolzen. Gleichzeitig lebende Säugetiere besaßen den (oben beschriebenen) typischen Säugetierbau von Kiefergelenk und Mittelohr.

Da die heutigen Kloakentiere (mit drei Gehörknöchelchen) aus ähnlichen Formen wie *Teinolophos* hervorgegangen sein sollen, muß also aufgrund dieses Fundes geschlossen werden, daß die Mittelohrknochen zweimal unabhängig voneinander bei den Säugetieren entstanden sind – erstens in der Gruppe der Theria (Beuteltiere und Plazentatiere) vor ca. 215-225 Millionen Jahren (Obertrias) und zweitens etwa 100 Millionen Jahre später in der Gruppe der Kloakentiere. Bisher war man der Auffassung, daß die Auswanderung der Gehörknöchelchen aus dem reptilischen Kiefergelenk vor der Aufspaltung in Kloaken-, Beutel- und Säugetiere erfolgte. *Die Mittelohrknochen Hammer, Amboß und Steigbügel verlieren damit nach RICH et al. (2005) ihre Bedeutung als charakteristisches Kennzeichen der Säugetiere.* Konvergenz eines Schlüsselmerkmals: das ist ein Vorgang, den Biologen bisher höchstwahrscheinlich ausgeschlossen hätten.

Schon früher fanden sich an einigen säugerähnlichen Fossilgruppen indirekte Hinweise auf das Fehlen der säugertypischen Mittelohrkonstruktion, doch sind deren systematische Positionen unklar, so daß bislang keine sicheren Schlußfolgerungen gezogen werden konnten. *Teinolophos* läßt nun keine andere Wahl mehr zu: Die an sich schon unwahrscheinliche Umbildung von Kiefergelenkknochen muß mindestens zweimal, nach MARTIN & LUO (2005, 862) sogar mindestens dreimal, unabhängig erfolgt sein. MARTIN & LUO weisen darauf hin, daß auch viele andere komplexe Merkmale des Schädels der Säugetiere konvergent aufgetreten sind. Ist eine solche Situation evolutionstheoretisch noch plausibel deutbar? Wir kommen weiter unten auf diese Frage zurück.

Schöpferische Evolution? An dieser Stelle lohnt es sich, zunächst noch einen Blick auf eine populäre Präsentation dieses Fundes und seiner Konsequenzen zu werfen. Antje FINDEKLEE schreibt in wissenschaft-online: „Hören ist eine verflucht komplizierte Angelegenheit. Und das dafür notwendige knöcherne wie häutige Inventar des Säugetierohr-Baukastens wirkt so hochspezialisiert, dass man nur staunen kann, wer wann im Laufe der Evolution dieses ausgeklügelte System entwickelt und seinen zahlreichen Nachfahren vom Schnabeltier bis zum Menschenkind hinterlassen hat.“ Hier wird Schöpfungsvokabular verwendet. Einen Akteur (wer?), der etwas „ausklügelt“, gibt es im Evolutionsprozeß jedoch nicht. Noch erstaunlicher sind die Schlußsätze der Autorin. Nach der Feststellung,

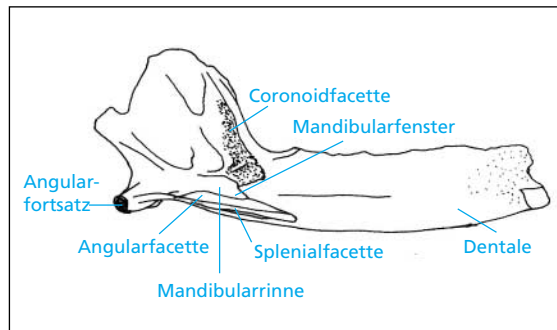


Abb. 2: Bruchstück eines Unterkiefers von *Teinolophos*, von der Innenseite gesehen. Die tiefe Mandibularrinne beherbergt bei besser bekannten Formen ein stabförmiges Aggregat von Unterkieferknochen. Erkennbar sind auch Facetten (Ansatzflächen) für das Spleniale, das Coronoid und das Angulare. (Nach RICH et al. 2005)

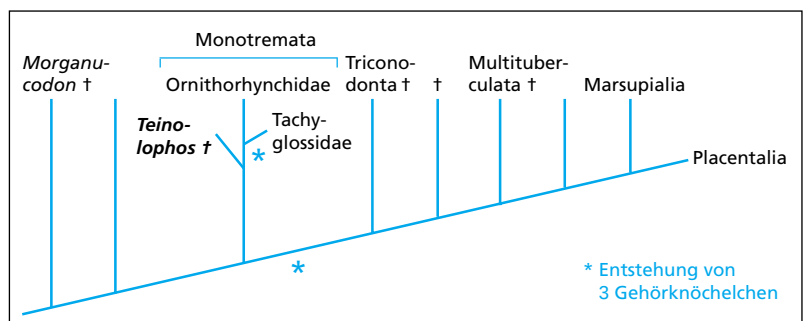
daß ein für viele Wissenschaftler herausragendes Merkmal der Säugetiere seine einzigartige Stellung verliere, schreibt sie: „Der Sache an sich tut das keinen Abbruch, im Gegenteil: Wie viel erstaunlicher ist nun die Erkenntnis, dass Mutter Natur den raffinierten Trick unabhängig ein zweites Mal entwickelte. Evolution sollte man einfach nie unterschätzen.“ So wird ein evolutionstheoretisch unerwarteter Befund ins Evolutionsgebäude eingebaut, indem man „der Evolution“ (die von FINDEKLEE auch noch als „Meister“ und als „höchst einfallsreich“ bezeichnet wird) schöpferische Qualitäten zuspricht. Die Grundproblematik der evolutiven Mechanismenfrage wird damit sprachlich überspielt. Tatsächlich müssen evolutive Mechanismen, die zu Konvergenz komplexer Strukturen führen, erst

Aufgrund von Bauplanähnlichkeiten kann nicht direkt auf gemeinsame Abstammung geschlossen werden.

noch entdeckt werden. Gleiche Selektionsdrücke sind dafür jedenfalls bei weitem nicht ausreichend. Doch es gibt noch weitere unangenehme Folgen dieses Fossilfundes und ähnlicher Befunde. In der Fachwelt sind diese Konsequenzen nicht neu, doch werden sie kaum popularisiert. Daraufkommen wir abschließend zu sprechen.

Unangenehme Konsequenzen für die Stammbaum-Rekonstruktion. Die Konvergenz der Gehörknöchelchen demonstriert beispielhaft die Problematik des evolutionären Homologie-Arguments. Dabei wird von Bauplanähnlichkeit auf gleichen Ursprung der verglichenen (homologen) Organe

Abb. 3: Phylogenetische Position von *Teinolophos*. Diese Position erfordert die mindestens zweimalige Entstehung der Säuger-Gehörknöchelchen (Sterne). (Nach MAISCH 2005)



* Entstehung von 3 Gehörknöchelchen

geschlossen. Wenn selbst einzigartige Schlüsselmerkmale mehrfach unabhängig entstehen können, ist das Homologie-Argument am Ende. *Denn offenbar kann aufgrund von Bauplanähnlichkeiten nicht direkt auf gemeinsame Abstammung geschlossen werden.* Daher gibt es auch keinen Homologiebeweis der Evolution (für eine ausführliche Diskussion dieses Sachverhalts siehe JUNKER 2002, 28-45). Ein verschachteltes, hierarchisches System von Schlüsselmerkmalen (enkaptisches System) wurde häufig als einer der stärksten Belege für Makroevolution genannt. Dieser Beleg wird mit zunehmender Kenntnis der Formenvielfalt in Frage gestellt.

Eine weitere damit zusammenhängende Konsequenz aus dieser Situation ist, daß selbst Komplexmerkmale keine eindeutige Information über Abstammungsverhältnisse liefern können. Diese Situation findet sich oft. Nicht umsonst stellt daher SHUBIN (1998) die Frage: „Wenn unabhängige Evolution von Schlüsselmerkmalen verbreitet ist, wie soll Phylogenese dann rekonstruiert werden?“

Es ist keine neue Entdeckung, daß das Merkmalsmuster der Lebewesen häufig ausgeprägt baustufenartig verteilt ist – auch im Bereich der Makro-

taxonomie (viele Beispiele sind in JUNKER 2002 zusammengetragen). Die Gehörknöchelchen liefern dafür nur ein weiteres, wenn auch besonders beeindruckendes Beispiel. Offenbar tragen solche Befunde dazu bei, die Entstehungsweise mit einem Schöpfungsvokabular zu beschreiben.

Reinhard Junker

Literatur

- FINDEKLEE A (2005) Mein Ohr, dein Ohr. Entstanden die Gehörknöchelchen der Säugetiere zweimal? www.wissenschaft-online.de/abo/ticker/77319
- JUNKER R (2002) Ähnlichkeiten, Rudimente, Atavismen. Holzgerlingen.
- JUNKER R & SCHERER S (2001) Evolution – ein kritisches Lehrbuch. Gießen.
- MAISCH M (2005) Mehrfach unabhängige Entstehung des Säugetiermittellohrs? *Nat. Rdsch.* 58, 434-436.
- MARTIN T & LUO ZX (2005) Homoplasy in the Mammalian Ear. *Science* 307, 861-862.
- RICH TH, HOPSON JA, MUSSER AM, FLANNERY TF & VICKERS-RICH P (2005) Independent Origins of Middle Ear Bones in Monotremes and Therians. *Science* 307, 910-914.
- SHUBIN N (1998) Evolutionary cut and paste. *Nature* 394, 12-13.

Stichlinge: Evolution oder Allelfrequenzverschiebung?

Marine Stichlinge tragen eine Panzerung aus Knochenplatten, die Süßwasserarten fehlt. Hauptverantwortlich dafür sind Unterschiede im Ectodysplasin-Gen. Es zeigte sich, daß dieses Gen in zwei Varianten (Allele) existiert und daß das Allel „ungepanzert“ auch in marinen Stichlingen – mit geringer Häufigkeit – bereits vorkommt. Die fehlende Panzerung der Süßwasser-Stichlinge (die aus marinen Arten entstanden sind) ist daher eher ein Selektions-, aber kein Evolutionsereignis.

In der letzten Ausgabe von *Studium Integrale journal* wurde bereits über Stichlinge und die Veränderungen der Panzerung und Bestachelung von Süßwasserarten gegenüber marinen (im Meer lebenden) Arten berichtet (WINKLER 2005). Marine Stichlinge sind mit einer kompletten Panzerung ausgestattet und besitzen ebenfalls Beckenstacheln – beides vermutlich einen Schutz gegen an Fraßfeinde im Meer. Die Stichlinge besitzen aber auch das Potential, sich an Süßwasser anzupassen, doch in den dortigen Lebensräumen sind die Fische nahezu ungepanzert und ohne Beckenstacheln (Abb. 1). Die äußeren Ursachen dafür sind unklar (fehlende Feinde, fehlendes Calcium oder ähnliches?). Bekannt ist jedoch, daß diese Verän-

derung in der Hauptsache von einem bestimmtem Genort gesteuert wird.

Neue Befunde. Als hauptverantwortlicher Genort wurde kürzlich das Gen für Ectodysplasin (EDA) ausgemacht. EDA-Mutationen treten auch bei anderen Wirbeltieren auf und verursachen dort z.B. den Verlust oder die Fehlentwicklung von Haaren, Zähnen und Schweißdrüsen.

Die Autoren der neuen Stichlingsstudie verglichen nun die EDA-Gene von komplett gepanzerten marinen Tieren mit ungepanzten Süßwasserarten und fanden bis zu vier Mutationen im EDA-Gen. Diesen Veränderungen im EDA-Gen wird der Wegfall der Panzerung zugeschrieben. Diese Mutationen sind überraschenderweise bei allen untersuchten Süßwasserarten (mit einer Ausnahme aus Japan) dieselben, obwohl die untersuchten Stichlinge über den ganzen Globus verteilt gefangen wurden. Desweiteren konnte festgestellt werden, daß die EDA-Variante (=Allel) für „ungepanzert“ auch in marinen Fischpopulationen in geringer Anzahl (=Frequenz) vorkommt. Ca. 0,2-3,8% der marinen Stichlinge (je nach Population) besitzen diese Variante wenigstens in einer Kopie.