

Von Dinosauriern und Mäusen – was uns Fossilien über die Entwicklung der Wirbelsäule lehren

Von Claudia Hoffman (ETH, Zürich)

Verschiedene Tiergruppen weisen erstaunliche Unterschiede in der Anzahl ihrer Rückenwirbel auf. Schildkröten beispielsweise haben vom Hals bis zum Schwanzansatz nur 18 Wirbel, während viele Schlangenarten mehr als 300 besitzen. Während die Wirbelzahl bei den Reptilien extrem variabel sein kann, ist sie bei Säugetieren sehr viel konstanter. Eine Giraffe beispielsweise besitzt trotz ihrer enormen Grösse nicht mehr Halswirbel als eine Maus. Die Wirbel der Giraffe sind nur sehr viel grösser und länger. Bis jetzt wurden Entwicklungsmechanismen, die diese Unterschiede erklären, nur anhand von wenigen Arten – wie etwa Maus und Huhn – genetisch untersucht.

Ein internationales Forscherteam um Professor Marcelo Sánchez vom Paläontologischen Institut der Universität Zürich ging jetzt der Frage nach, auf welche Weise unterschiedliche Wirbelzahlen während der Evolution entstanden sind – und zwar mit einem paläontologischen Ansatz. Die Forscher untersuchten nicht nur die Wirbelsäulen verschiedener lebender Tierarten, sondern auch Fossilien bereits ausgestorbener Arten aus insgesamt 436 Tiergruppen. Das Ergebnis: schon vor Jahrmillionen gab es den bereits erwähnten Unterschied zwischen Reptilien und Säugetieren. Während auch die Vorfahren heutiger Reptilien ganz unterschiedliche Wirbelsäulen-Baupläne aufwiesen, traten bei den Säugetieren viel weniger Variationen auf. Besonders konstant ist bei ihnen der Bereich der Halswirbelsäule.

Die Wirbelsäule, insbesondere der Abschnitt vor dem Becken, bildet sich in der Embryonalentwicklung nach bestimmten Mustern aus. Aus einem Vorläufergewebe schnüren sich kleine segmentale Pakete ab – die sogenannten Somiten – aus denen sich später unter anderem die Wirbel bilden. Wie viele Wirbel entstehen hängt somit davon ab, wie viele Somiten sich im Embryo bilden. Das kann je nach Tierart unterschiedlich sein. Ebenfalls während der Embryonalentwicklung werden die Hox-Gene aktiv. Sie bestimmen die verschiedenen Abschnitte, in welche die Wirbelsäule unterteilt ist. Nach dem Muster der Hox-Genexpression werden an definierter Stelle Extremitäten gebildet, sodass sich schliesslich die Halswirbel vor und die restlichen Wirbel hinter dem Schultergürtel befinden.

Um herauszufinden, welche Veränderungen diese Entwicklungsmuster im Laufe der Zeit erfahren haben, machten sich die Forscher ans Zählen. Sie bestimmten die Anzahl der Rückenwirbel vom vordersten Halswirbel bis zum Kreuzbein. Die Gesamtzahl der Wirbel

liefert Informationen über Veränderungen, die bei der Somitenbildung stattgefunden haben. Die Zahl der Halswirbel - im Vergleich zur Gesamtlänge der Wirbelsäule – erlaubt dagegen Rückschlüsse über das Muster der Hox-Genexpression. Mit Hilfe eines Computerprogramms wurde aus den gewonnenen Daten abgeleitet, wie viele Wirbel die letzten gemeinsamen Vorfahren der untersuchten Arten besessen haben müssen.

Der Stammbaum zeigt, dass bei heutigen Reptilien und ihren ausgestorbenen Verwandten die Zahl der Rückenwirbel stark variieren kann. Das bedeutet, dass im Laufe der Evolution Veränderungen auftraten, die zu einer Vermehrung oder zu einer Verringerung der Somitenzahl und damit der Anzahl der Wirbel führten. Andererseits kam es durch veränderte Hox-Genexpression zu Verschiebungen der Körperabschnitte. Bei einigen Reptiliengruppen ist der Hals proportional länger, bei anderen kürzer, selbst wenn die Gesamtzahl der Wirbel gleich bleibt. Die vielen Variationen belegen: Veränderungen in Somitenbildung und Hox-Genexpression gingen zum Teil Hand in Hand bei der Entwicklung neuer Baupläne. In anderen Fällen wirkten sie jedoch getrennt voneinander. Neue Wirbelsäulen-Baupläne können also im Laufe der Evolution durch zwei voneinander unabhängige Mechanismen entstanden sein.

Bei den Säugetieren sind die Bauplan-Variationen sehr viel geringer als bei anderen Landwirbeltieren. Insbesondere die Zahl der Halswirbel ist bis auf wenige Ausnahmen gleich geblieben. Die meisten Säugetiere – einschliesslich des Menschen - besitzen sieben Halswirbel. Auch der proportionale Anteil von Halswirbeln an der gesamten Wirbelsäule hat sich kaum verändert. Allerdings weichen im Wasser lebende Säuger wie Wale und Seekühe etwas vom ursprünglichen Säugetier-Bauplan ab. Durch Anpassung an die aquatische Lebensweise haben sie mehr Rückenwirbel entwickelt. Trotzdem ist die Anzahl ihrer Halswirbel – im Gegensatz zu den verlängerten Hälsen der Meeressäurier - gleich geblieben. Das belegt wiederum, dass der Bereich der Halswirbelsäule bei Säugetieren Einschränkungen unterworfen ist, die allzu grosse Variationen verhindern. Was die Ursache dafür ist, kann vermutlich erst durch weitere Forschung geklärt werden.

Durch das Einbeziehen von fossilen Tiergruppen ist es den Forschern gelungen, ein vollständigeres Bild der Evolution, aber auch der Entwicklung der Wirbel im Embryo zu zeichnen. Doch Wirbelzahl und Anordnung der Körpersegmente entscheiden nicht darüber, welche Gesamtgrösse ein Tier erreichen kann. Das lässt sich gut am Beispiel der Riesendinosaurier, der Sauropoden, erkennen: sie erreichten ihre überdimensionale Grösse nicht durch eine vermehrte Wirbelanzahl, sondern schlicht durch ein aussergewöhnlich starkes Wachstum.