

Homologie: (Abstammungsähnlichkeiten - Divergenz)

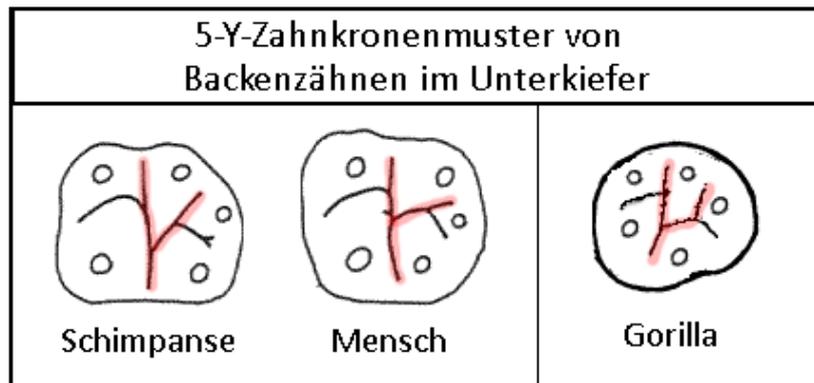
Aufgrund gemeinsamer Abstammung gibt es Parallelen im Grundbauplan bestimmter Merkmalen. So weisen verschiedene Taxa mit einem gemeinsamen Vorfahren, auch in Merkmalen, die nicht mehr die ursprüngliche Funktion besitzen, Ähnlichkeiten auf [1] [2]:

Homologie 1: Gebiss von Mensch und Gorilla

Die nahe Verwandtschaft von Menschenaffen und Menschen wird besonders deutlich, wenn man das Gebiss und die Beschaffenheit der Zähne genauer betrachtet. Mit dem Kriterium der Lage lassen sich Organe verschiedener Arten aufgrund identischer Position als homolog erkennen; so liegt der Eckzahn eines Gorillas ebenso wie der viel kleinere Eckzahn des Menschen zwischen Schneidezahn und Vorbackenzahn [3]. Obwohl sich die Zahnformel (I2-C1-P2-M3) von Mensch und Gorilla noch gleichen, kann man morphologische Veränderungen erkennen, die den Nahrungsgewohnheiten angepasst sind, so haben Gorillas wie alle pflanzenfressenden Säugetiere oft kleine Schneidezähne und große Eckzähne [4].

Die Zahnkronen der Backenzähne haben sehr ähnliche Muster auf den Kauflächen, das sich aus der Anzahl der Höcker und Furchen ergibt. Es wird als Dryopithecus- oder 5-Y-Muster bezeichnet. Dieses Zahnkronenmuster muss demnach schon bei einem gemeinsamen Vorfahren existiert haben.

Abbildung 1: Die 5-Y-Kronenmuster der Backenzähne vom Menschen (*homo sapiens*), Schimpansen (*pan*) und Gorilla (*gorilla*). Die Y-Form ist rot markiert, Maßstab stimmt nicht. *Bilder verändert und zusammengefügt nach [5] [6]*



Homologie 2: Das homologe Protein Cytochrome c

Homologe Proteine verschiedener Spezies unterscheiden sich manchmal nur in wenigen Aminosäuren, auch wenn sich ihre Taxa schon vor langer Zeit auseinanderentwickelt haben. Solche Proteine werden konservativ genannt, und mit Hilfe ihrer Variabilität können heutzutage Stammbäume generiert werden. Wenn eine Aminosäure, auch bei phylogenetisch entfernten Taxa, an der selben Stelle der Primärstruktur zu finden ist, so ist diese Aminosäure für die Proteinfunktion oder -struktur die einzig passende. Man nennt dies einen invarianten Rest. Wenn Aminosäuren mit ähnlichen Charakteristika (polar, unpolar, geladen, ungeladen, sterisch) an der gleichen Stelle von homologen Proteinen auftreten, übernehmen diese die funktionellen Anforderungen und werden dann konservativ substituiert genannt. Auch hochkonservative Proteine wie Cytochrom c sind bei den verschiedenen Taxa nicht identisch und entwickeln sich, unter Vorbehalt von physiologischen Veränderungen, trotzdem weiter [7].

	1	5	10	15	...	95	100	104																				
Mensch	G	D	V	E	K	G	K	K	I	F	I	M	K	C	S	Q	C	...	I	A	Y	L	K	K	A	T	N	E
Resusaffe	G	D	V	E	K	G	K	K	I	F	I	M	K	C	S	Q	C	...	I	A	Y	L	K	K	A	A	N	E
Pferd	G	D	V	E	K	G	K	K	I	F	V	Q	K	C	A	Q	C	...	I	A	Y	L	K	K	A	T	N	E
Taube	G	D	I	E	K	G	K	K	I	F	V	Q	K	C	S	Q	C	...	I	A	Y	L	K	Q	A	T	A	K

Polar
 Unpolar
 Geladen, sauer
 Geladen, basisch

Abbildung 2: Ausschnitt von Sequenzvergleich des Cytochrome c. Unterschiede des gesamten Proteins: Mensch/Resusaffe = 1AS; Mensch/Pferd = 10AS; Mensch/Taube = 13AS [7]

Homologie 3: Die Phylogenie Cetartiodactyla

Die auffälligste fossil dokumentierte Synapomorphie (gemeinsames Merkmal), der zum Taxon der Cetartiodactyla zusammengefassten Wale und Paarhufer, betrifft das Sprungbein (Astragalus), ein Knochen des oberen Sprunggelenkes. Es ist bei den frühen Walen durch doppelte Gelenkrollen ("Rollbein") gekennzeichnet, ein anatomisches Merkmal, das sonst nur noch bei den Paarhufern in Erscheinung tritt [8].

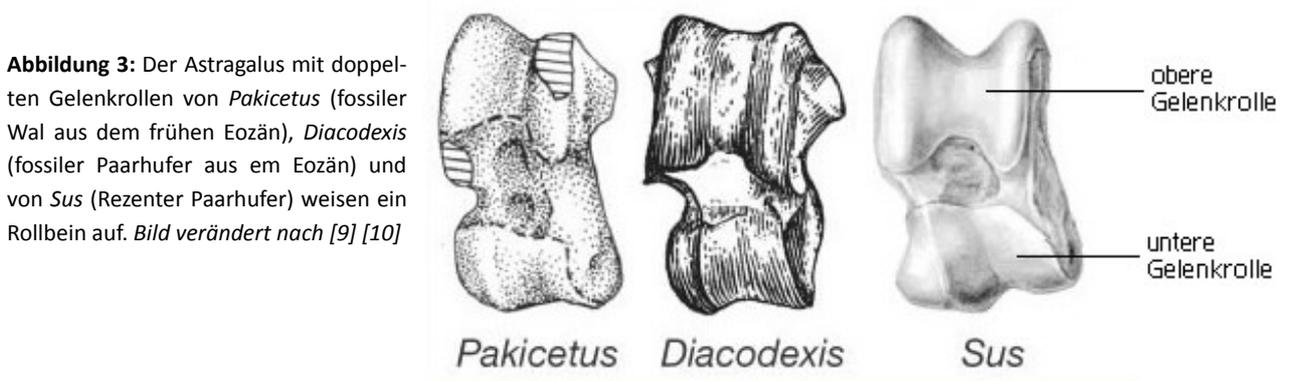


Abbildung 3: Der Astragalus mit doppelten Gelenkrollen von *Pakicetus* (fossiler Wal aus dem frühen Eozän), *Diacodexis* (fossiler Paarhufer aus dem Eozän) und von *Sus* (Rezenter Paarhufer) weisen ein Rollbein auf. Bild verändert nach [9] [10]

Nach einer alternativen Stammbaumhypothese von dem Paläontologen Hans Thewissen et al. aus dem Jahr 2007 waren die Raoellidae, eine ausgestorbene Gruppe von Paarhufern, die nächsten Verwandten der frühen Wale und die beiden Taxa bilden gemeinsam die Schwestergruppe der übrigen Paarhufer einschließlich der Flusspferde [11].

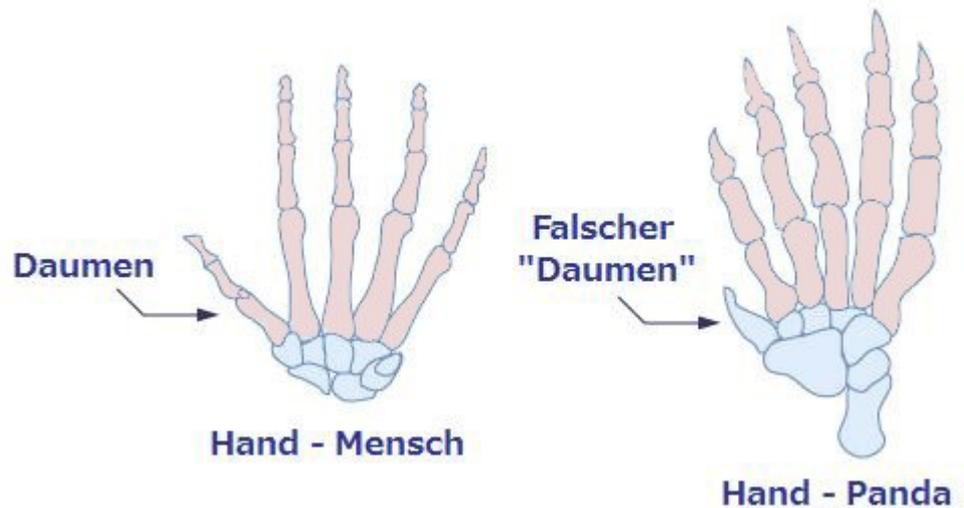
Analogie: (Funktionsähnlichkeiten - Konvergenz)

Aufgrund ähnlicher Nischenbesetzung in unterschiedlichen (oder gleichen) Ökosystemen, sind durch Konvergenz ähnliche Organe entstanden, die meist funktionsgleich sind, sich jedoch in ihrem Grundbauplan unterscheiden [1]:

Analogie 1: Der Daumen vom Panda

Der Daumen der Primaten ist eine einzigartige evolutionäre Entwicklung. Er steht zu den anderen Fingern in opponierter Stellung, so dass die Hand als kräftiges und variables Greifwerkzeug dienen kann. Auch beim Großen Panda (*Ailuropoda melanoleuca*) hat sich ein Daumen entwickelt, der zur Fixierung von dünnen Bambusstäben dient. Im Gegensatz zu dem Primatendaumen ist der Pandadaumen nur zur Adduktion fähig. Diesen Agilitätsunterschied kann man bei genauerer Betrachtung des Knochenaufbaus herleiten. So ist der Pandadaumen kein richtiger Finger, sondern nur ein umfunktioinierter Handwurzelknochen [12].

Abbildung 4: Der Pandadaumen ist ein modifizierter Handwurzelknochen *Bild verändert nach [13]*



Analogie 2: Riesenreißzähne von Säbelzahnkatze (*Smilodon*) und Beutelkatze (*Thylacosmilus*)

Smilodon und *Thylacosmilus* lebten im Südamerika des Pliozän (*Smilodon* bis ins Pleistozän). Beide hatten extrem lange Reißzähne, so dass sich die fossilen Funde der Schädel auf dem ersten Blick zum Verwechseln ähnlich sehen:



Abbildung 5: Im Vergleich die Fossilien der beiden Schädel [1]

Die Tatsache, dass beide Fossilien Reißzähne aufweisen ist homolog, trotzdem ist die ungewöhnliche Länge und Gestalt der Zähne analog! *Smilodon* gehörte zu den Höheren Säugetieren, *Thylacosmilus* hingegen gehörte zu den Beuteltieren. Diese beiden Taxa haben sich zu diesen Zeitpunkt schon vor langer Zeit aufgespalten und divergent entwickelt, so dass die unabhängige Entwicklung der Riesenreißzähne eine Analogie ist [1].

Analogie 3: Gleithörnchen (*Pteromyini*) und Kurzkopfgleitbeutler (*Petaurus breviceps*)

Auf dem ersten Blick sehen sich diese beiden Tiergattungen zum Verwechseln ähnlich. Sie besitzen beide charakteristisch große Augen und zwischen den Extremitäten eine Gleithaut. Bei entwicklungsbiologischer Betrachtung stellt man fest, dass die Gleithörnchen zu den höheren Säugetieren gehören und die Gleitbeutler zu den Beuteltieren. Die genauere phylogenetische Stellung dieser Taxa wurden auch schon molekularbiologisch erforscht [14]. Diese homologe Entwicklung ist auf gleiche Nischenbesetzung zurückzuführen. Beide Gattungen sind nachtaktiv (daher die großen Augen) und bewegen sich im Geäst von Bäumen, wobei sie teilweise zwischen entfernten Baumkronen wechseln (daher die Gleithaut).

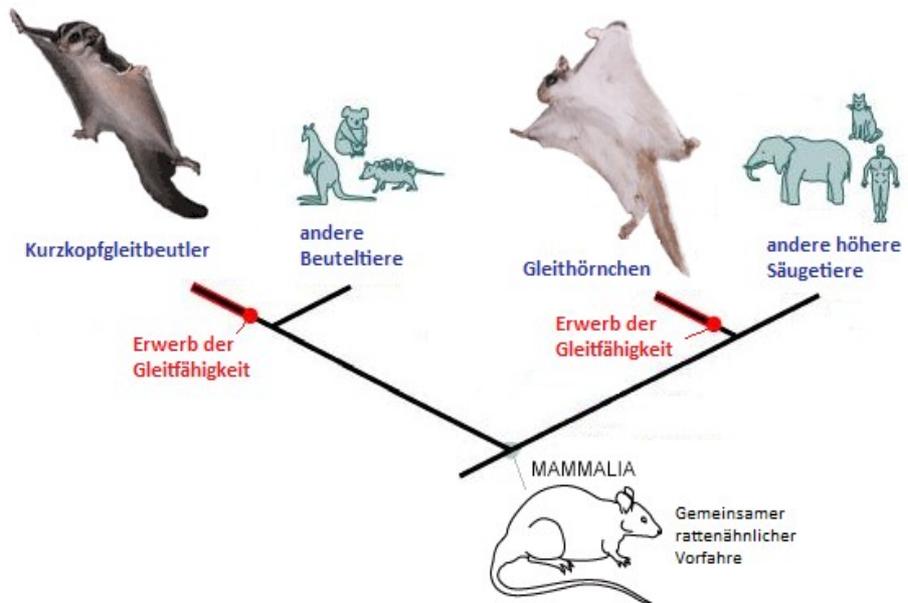


Abbildung 6: Phylogenetischer Stammbaum vom Gleithörnchen (*Pteromyini*) und Kurzkopfgleitbeutler (*Petaurus breviceps*) Bild verändert nach [15]

Verschiedene Arten von Homologien

Anatomische Homologie:

In einem phylogentischen Taxon treten, aufgrund der selben Abstammung, Ähnlichkeiten im Grundbauplan von gemeinsamen Merkmalen auf, die auch noch bei Funktionsabwandlung erhalten bleiben müssen. So sind beispielsweise die Skelettelemente der Extremitäten von Säugetieren stets nach dem gleichen Muster aufgebaut [2]. Auch die Segmentierung des Schädels und der Schädelknochen, von Säugetieren und Reptilien, weisen auf einen gemeinsamen Vorfahren hin [16].

Embryologische Homologie:

Nicht offensichtliche Homologien können durch die Betrachtung von den verschiedenen Embryonalphasen gefunden werden. So kann man anhand der Embryonalentwicklung Organe oder Merkmale verschiedener Taxa zu unterschiedlichen Zeitpunkten beobachten und kann diese einander zuordnen [2].

Molekulare Homologien:

Auch bei den unterschiedlichsten Lebensformen kann man noch homologe Merkmale finden. So benutzen alle Organsimen Desoxyribonuclein- bzw. Ribonucleinsäure als genetisches Speichermedium[2]. Auch sehr entfernte Taxa wie Plantae und Mammila benutzen nicht nur das gleiche Speichermedium, sondern auch den gleichen Entschlüsselungscode für Proteine. In der Genetik werden darüber hinaus noch Homologien unterschieden, so werden Gene hierbei ihrem Ursprung entsprechend als paralog oder ortholog bezeichnet [7].

Quellen:

[1] Ion Cojocaru. 2006. Evolutionary convergence and its significances. "Alexandru Ioan Cuza" University, Faculty of Biology, Romania

[2] Campbell - Biologie, Pearson-Verlag, 2006, p.515ff

[3]

<http://www.schuelerlexikon.de/SID/9abedb70968d5a30d6e950b662fca58d/lexika/biologie/cont/cont0200/cont0224/full.htm>

[4] <http://de.wikipedia.org/wiki/Gorillas>

[5]<http://www.scheffel.og.bw.schule.de/faecher/science/biologie/humanevolution/2fossil/humanfos.htm>

[6] Daris R. Swindler. 2002. Primate Detention – An introduction to the teeth of non-human primates. Camebridge University Press

[7] Voet/Voet – Biochemie, Wiley VCH-Verlag, 2002, p.124-127

[8] <http://www.palaeos.com/Vertebrates/Units/520Cetartiodactyla/520.120.html>

[9] Christian de Muizon. 2001. Walking with whales. Nature 413, p.259-260

[10] <http://www.palaeos.com/Vertebrates/Units/520Cetartiodactyla/520.300.html>

[11] J.G.M. Thewissen, E.M. Williams, L.J. Roe & S.T. Hussain. 2001. Skeletons of terrestrial cetaceans and the relationship of whales to artiodactyls. Nature 413, p.277-281

[12] Stephen Jay Gould. 1978. The Panda's Peculiar Thumb. Incorporating Nature Magazine Vol. 87, No. 9

[13] http://www.evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/analogy_06

[14] Mark S. Springer, Michael J. Stanhope, Ole Madsen and Wilfried W. de Jong. 2004. Molecules consolidate the placental mammal tree. Trends in Ecology & Evolution, Volume 19, Issue 8, 1 August 2004, Pages 430-438

[15] http://www.evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/analogy_02

[16] <http://www.eduvinet.de/mallig/bio/Repetito/Evolut4.html>