

Vom Vierbeiner zum Zweibeiner

Autor(en): **Schmid, Peter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles =
Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg**

Band (Jahr): **90 (2001)**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-308816>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Vom Vierbeiner zum Zweibeiner.

Peter SCHMID

Anthropologisches Institut und Museum der Universität Zürich-Irchel

Pendant plusieurs années, la progression bipède était considérée comme importante différence entre les singes et l'homme. Par contre cette particularité ne semblait apparaître que très tard dans l'histoire de l'évolution humaine, plus tard que le développement particulier du cerveau ou la capacité de fabriquer des outils et des armes. Au courant des dernières 80 années, on a trouvé plusieurs espèces d'hominidés (= appartenant à la famille de l'homme) qui étaient adaptées à la marche bipède pendant que la taille du cerveau ne se distinguait à peine de celle d'un grand singe. Quand est-ce que les premiers bipèdes apparaissent-il dans la lignée humaine ? Quels avantages nous procure cette démarche ? Quelques réponses, quelques idées et des résultats actuels au sujet de l'évolution de cette locomotion particulière vont être présentées.

Während vielen Jahren betrachtete man den zweibeinigen aufrechten Gang als den wichtigsten Unterschied zwischen den Affen und dem Menschen. Diese Besonderheit des Menschen schien relativ spät in der Entwicklungsgeschichte aufgetreten zu sein, lange nach der besonderen Hirnentwicklung und der Fähigkeit, Werkzeuge und Waffen herzustellen. In den vergangenen 80 Jahren wurden jedoch einige Menschenarten entdeckt, welche den aufrechten Gang zeigten, obwohl ihre Gehirngrösse noch nahe bei derjenigen der Menschenaffen lagen. Wann erscheinen die ersten Zweibeiner in der Menschenlinie? Wie ist die Aufrichtung des Menschen zu bewerten und welche Vorteile bringt sie mit sich? Einige Antworten und Gedanken zu diesen Fragen, sowie neueste Erkenntnisse zur menschlichen Entwicklungsgeschichte werden vorgestellt.

Upright bipedalism was considered as an important difference between human beings and other primates. This particularity seems to appear relatively late in the history of human evolution, long after the particular development of the brain or after the ability to produce tools or arms. During the late 80 years, several species of the hominid family were discovered which show upright bipedal locomotion although their brain volume was quite similar to that of the apes. When did the first bipeds appear in the human lineage? What

are the advantages of the upright posture in humans? Some answers, some ideas to these questions and the newest results from the research in paleoanthropology will be presented.

Der Mensch unterscheidet sich von den übrigen Säugetieren durch seine besondere Fortbewegungsweise. Die aufrechte Körperhaltung und der zweibeinige Gang führten zur Befreiung der Hand von Lokomotionsaufgaben. Die Hand wurde zum Kultur tragenden Objekt. Da der Schultergürtel in der Fortbewegungsweise nur noch eine geringe Rolle spielt, wird der Brustraum nicht mehr durch die Stützfunktion beeinträchtigt. Der Atemmechanismus entwickelt sich. Eine optimierte Sauerstoffaufnahme sowie ein perfekter Kühlmechanismus machte aus dem Menschen einen ausdauernden Langstreckenläufer, was ihn zu einem ausgezeichneten Jäger werden liess. Sogar die Kehlkopfregion, ein wichtiges Element der Sprechfähigkeit, mag von der veränderten Körperhaltung profitiert haben.

Die zentrale Frage in der menschlichen Stammesgeschichte betrifft also den Übergang vom Vierbeiner zum Zweibeiner. Wie muss man sich diese Entwicklungsstufe vorstellen? Die banale Antwort lautet: der Übergang erfolgte über ein «Dreibeiner»-Stadium. Obwohl dies lächerlich erscheint, ist das Dreibeiner-Stadium nicht allzu abwegig. Im 18. und 19. Jahrhundert wurden die Menschenaffen oft aufrecht stehend dargestellt. Man war sich allerdings bewusst, dass diese Formen nicht perfekt aufrecht gehen konnten und hat ihnen jeweils einen Stock als Gehhilfe beigefügt. Diese Unzulänglichkeit des Übergangstadiums mag zum Schmunzeln anregen. In der moderneren Zeit hat sich eine ebenso lächerliche Vorstellung breit gemacht. Es handelt sich dabei um die populären Darstellungen einer halb aufgerichteten, gebückten Körperhaltung. Es ist erstaunlich, dass selbst in der Wissenschaft dieser halb aufgerichtete Übergang immer wieder vorgestellt wird, obwohl er biomechanisch und energetisch völlig unhaltbar ist.

Viele Vierbeiner richten sich von Zeit zu Zeit auf ihren Hinterbeinen auf (Murmeltiere, Bären usw.). Dabei handelt es sich jedoch nie um eine «halbe» Aufrichtung, sondern um ein eindeutiges Senkrechtstellen der Wirbelsäule. Für die zweibeinige Körperhaltung brauchen sie allerdings viel Energie, da sie, bedingt durch die ungünstige Lage des Körperschwerpunktes, die Gelenke der Hinterextremität mit Muskelkraft stabilisieren müssen. Manche Vierbeiner brauchen selbst im Stehen auf vier Beinen zuviel Energie, was ein lang anhaltendes Stehen schwierig macht. (Hunde, Katzen Affen). Sie erholen sich am besten in sitzender oder liegender Haltung.

Für den Menschen hingegen bedeutet langes Stehen kein Problem. Feine Muskelkontraktionen und ein spezieller Bänderapparat vermögen, den aufrechten Körper über einer relativ kleinen Standfläche im Gleichgewicht zu halten (Abbildung 1).

Dabei müssen die wichtigsten Körpersegmente an ihren verbindenden Gelenken stabilisiert, das heisst, im Gleichgewicht gehalten werden. Der Schwerpunkt des Kopfes liegt leicht vor dem Kopfgelenk. Der leichte Zug der Nackenmuskeln verhindert ein Absinken des Kopfes nach vorne. Überkommt einen die Müdigkeit, fällt bei einschlafenden Personen in der aufrechten Haltung zuerst das Kinn auf die Brust. Über dem Hüftgelenk bewegt sich der Oberkörper vor- und rückwärts. In einer bequemen Standhaltung würde der Oberkörper nach hinten kippen. Dies wird durch einen Bandkomplex (Ligamentum iliofemorale) verhindert, der ein Überdehnen im Hüftgelenk verhindert. Die Standbeinhüfte wird nach vorne geschoben und wir hängen uns in diese Bänderkapsel hinein. Das gestreckte Kniegelenk liegt hinter der Schwerpunktsachse. Das Körpergewicht würde zu einem Überstrecken in diesem Gelenk führen. Auch hier muss keine Muskelkraft aufgewendet werden, um das Gelenk zu stabilisieren. Die Seiten- und Kreuzbänder blockieren das Scharnier ohne Kraftaufwand. Das Sprunggelenk, der Übergang vom Unterschenkel auf den Fuss benötigt hingegen Muskelaktivität. Feine Muskelbewegungen stabilisieren das Fussgelenk. Werden diese feinen Koordinationsbewegungen gestört, zum Beispiel durch Alkoholkonsum, geraten wir

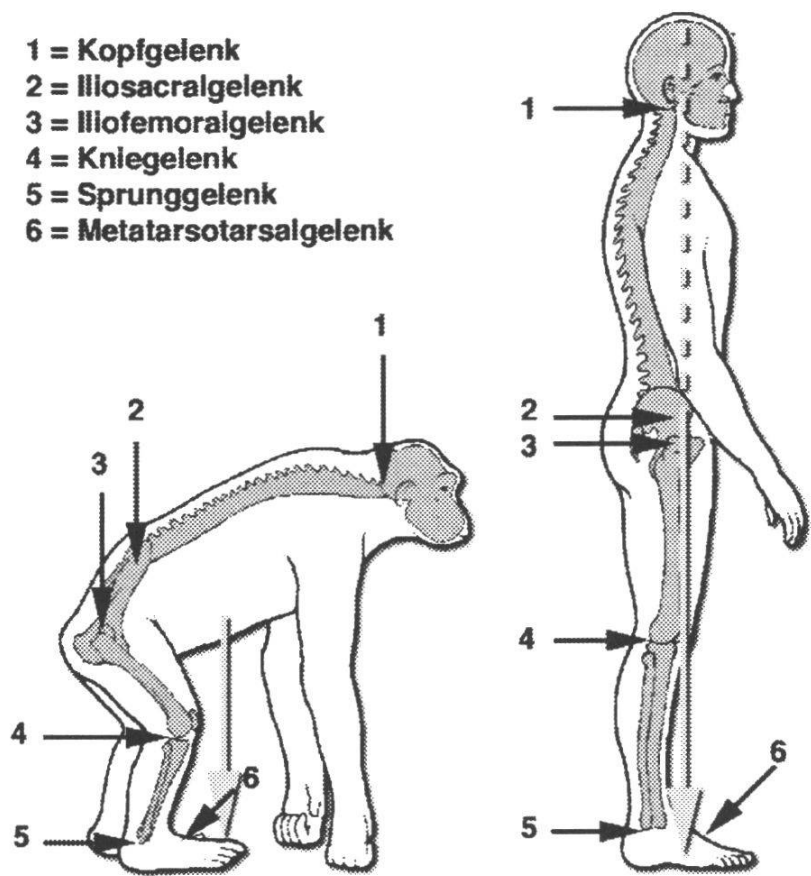


Abbildung 1: Die wichtigsten Gelenke, welche bei Vier- bzw. Zweibeiner unterschiedliche Drehmomente und Ausbildung zeigen. Die grauen Pfeile repräsentieren das Schwerelot.

ins Schwanken. Die aufrechte Körperhaltung des Menschen ist durch diese besonderen Gelenkskonstruktionen ausgesprochen Energie sparend und benötigt nur geringe Muskelarbeit zur Stabilisierung.

Obwohl der menschliche Fuss praktisch sämtliche Muskeln bewahrt hat, welche den Affen das Klammern und Greifen erlauben, ist der Knochen- und Bandapparat dergestalt, dass er zu einer federnden Plattform wurde (ELFTMAN und MANTER, 1935a; ELFTMAN und MANTER, 1935b). Einerseits trägt der Aussenrand das Gewicht wie bei einem äffischen Greiffuss. Andererseits ist ein Teil der Fusswurzel über den Aussenfuss gelagert. Das dadurch entstandene Längs- und Quergewölbe vermag beim Gehen nicht nur Stösse zu dämpfen, sondern zugleich als eigentliche Blattfeder Energie zu speichern, die uns beim Abstossen zugute kommt. Ein wichtiges Element dieser Bogenkonstruktion stellt die Grosszehe dar. Sie wird zur funktionellen Achse und wird in der letzten Phase des Schrittzklus beim Abstossen gebraucht. Affen haben «Platfüsse» und stossen mit allen Zehen gleichzeitig ab.

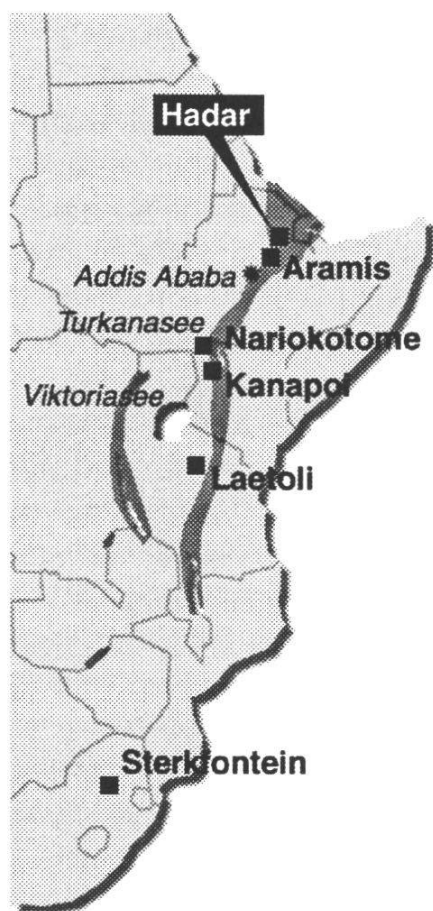
Wie ist der Übergang vom Vierbeiner zum Zweibeiner in der Fossilgeschichte dokumentiert?

Die wichtigsten Zeugen entstammen den geologischen Schichten des ostafrikanischen Grabenbruchsystems (Abbildung 2). Durch das Absacken der eingebrochenen Erdkruste wurden entsprechende Ablagerungen freigelegt, wobei zwischen gelagerte Vulkangesteine zusätzlich als ausgezeichnete Datierungsgrundlagen dienen.

Die frühesten Zeugen für eine Veränderung des Haltungsapparates sind 5.8–4.4 Millionen Jahre alt. Sie gehören zu affenähnlichen Gebissen aus der Fundstelle Aramis in Äthiopien (HAILE-SELASSIE, 2001; WHITE et al., 1994; WHITE et al., 1995; WOLDEGABRIEL et al., 2001; WOLDEGABRIEL et al., 1994). Die Kopfgelenke an einem Schädelbasisfragment dieses so genannten *Ardipithecus ramidus* sind nach vorne verlagert. Sie kommen dabei auf die Höhe der Verbindungslinie zwischen den Eintrittsstellen der Halsschlagader zu liegen. Dies wird als Indiz für die verbesserte Balance des Kopfes auf einer möglicherweise aufrechten Wirbelsäule aufgefasst. Bei den Menschenaffen liegen die Kopfgelenke viel weiter hinten, da das Hinterhauptloch, und damit der Austritt des Rückenmarks, nach hinten und nicht nach unten geöffnet ist. Entsprechend ist das Nackenmuskelfeld, welches bei den Vierbeinern noch relativ groß ist, um den schweren Kauapparat zu heben, beim Menschen reduziert worden.

Vor 4,1 Millionen im Jahren existierten Formen, die man am Turkanasee in Kenia ausgegraben hat (LEAKEY et al., 1995; WARD et al., 1999). Dieser *Australopithecus anamensis* (anam = See) ist ebenfalls durch ein äffisches Gebiss ausgezeichnet. Die Frontzähne sind zwar noch affenähnlich gross, werden jedoch in menschenähnlicher Weise flach abgekaut, während bei den Menschenaffen die Eckzähne immer spitz bleiben und über die Kauebene hinausragen.

Neben einem menschenähnlichen Armfragment sind Bruchstücke eines Schienbeins von Bedeutung. Der Schaft unterhalb des Kniegelenks ist im Gegensatz zu den vierbeinigen Menschenaffen verstärkt, da offenbar das Körpergewicht vermehrt durch die Beine getragen wurde. Ein weiterer Unterschied betrifft die Neigung des Sprunggelenks. Bei kletternden Formen ist der Fuss einwärts gedreht und der Unterschenkel ist nach aussen gerichtet. Zusammen mit dem Oberschenkel führt dies zu einer physiologischen O-Beinstellung. Bei *A. anamensis* steht der Unterschenkel senkrecht auf dem Sprunggelenk. Diese Stellung bildet zusammen mit dem nach aussen gerichteten Oberschenkel beim Menschen eine physiologische X-Beinstellung. Damit liegt im Einbeinstand das Knie in der Schwerpunktsachse, was beim zweibeinigen Gehen ein Hin- und Herwanken des Oberkörpers reduziert.



Dieselbe X-Beinstellung wurde auch bei einer etwas jüngeren Form von *Australopithecus* (*A. afarensis*, 3.2 Mio. Jahre alt) aus Hadar in Äthiopien beschrieben (JOHANSON et al., 1976; JOHANSON et al., 1982; JOHANSON und TAIEB, 1976a; JOHANSON und TAIEB, 1976b; JOHANSON et al., 1978). *A. afarensis*, berühmt geworden durch das bekannte Teilskelett mit dem populären Namen «Lucy», zeigt ein weiteres, elementares Charakteristikum des zweibeinigen Bewegungsapparates. Im Zuge der optimierten Gewichtsübertragung sind die Beckengelenke zwischen Becken und Kreuzbein sowie dasjenige zwischen Becken und Oberschenkel einander angenähert und stehen in der Zweibeinerhaltung genau übereinander. Diese Veränderung gegenüber dem Vierbeinerbecken ist ein Schlüsselmerkmal für den aufrechten Gang und definiert unter anderem die Menschenartigen.

Abbildung 2: Die wichtigsten Fundorte von Vorläufern der Menschenlinie im ostafrikanischen Rift-Valley.

Die Annäherung dieser Beckengelenke verengt den Geburtskanal (BERGE et al., 1984; HÄUSLER und SCHMID, 1995). Dies ist ein wichtiger Grund, weshalb der Mensch als einziges Säugetier mit einem kleinen Gehirn auf die Welt kommt, das starke Gehirnwachstum aber nach der Geburt anhält. Dies öffnet den Weg zu einer besonderen Hirnentwicklung. Bei allen übrigen Säu-

getieren erfährt das Gehirnwachstum nach der Geburt praktisch einen Stillstand (MARTIN, 1990). Beim Menschen findet nachgeburtlich fast eine Verdreifachung dieses Organs statt.

Neben dem Becken haben neuere Untersuchungen gezeigt, dass die Lendenwirbelsäule bei *A. afarensis* ein Hohlkreuz bildet, was die Menschenartigen ebenfalls von den Vierbeinern abgrenzt (ABITBOL, 1995; MARTELLI und SCHMID, 2000; SANDERS, 1990). Die grossen Menschenaffen zeigen eine Versteifung der Lendenregion. Zudem liegen die letzten Rippen beinahe auf dem Beckenkamm auf. Eine Verdrehung des Rumpfes, das heisst Schulterachse gegenüber der Beckenachse ist unmöglich. Diese extreme Stabilisation des Rumpfes unter Reduktion der Lendenwirbelzahl impliziert, dass ein Vorfahre der Menschenartigen niemals von einem derart spezialisierten Bewegungsapparat, wie ihn die heutigen Menschenaffen zeigen, abgeleitet werden kann.

Das Skelett der Australopithecinen stellt uns jedoch vor Probleme. Bereits der erste Fund eines fossilen Beckens dieser Gruppe aus Sterkfontein in Südafrika gab zu Diskussionen Anlass (BROOM und ROBINSON, 1950; HÄUSLER und SCHMID, 1995; ROBINSON, 1972). So sind die Beckenschaufeln der Australopithecinen, ähnlich wie bei den grossen Menschenaffen, nach der Seite weit ausladend und bieten dem grossen Rückenmuskel (*M. latissimus dorsi*) eine breite Ursprungsfläche (SCHMID, 1983). Dieser Muskel zieht zum Oberarm und bildet gleichzeitig den Hinterrand der Achselhöhle. Er ist für das Klettern sehr wichtig, denn er zieht den Oberarm nach hinten und ist demnach für das Hochziehen des Körpers von Bedeutung. Beim Menschen ist dieser Muskel in seinem Ursprung am Becken reduziert. Die Form der Beckenschaufel wird durch eine Biegung verändert, die den Beckenkamm nach vorne dreht. Damit entsteht seitlich an der Hüfte eine breite Ursprungsfläche für eine Gruppe von Muskeln, die zum Oberschenkelknorren (*Trochanter major*) ziehen. Dieses kräftige Muskelpaket (= *Mm. glutei*) stabilisiert das Becken im Einbeinstand in der Horizontalen. Damit erlaubt es ein freies Vorschwingen des Schwungbeines im zweibeinigen Gang. Die äffische Schaufelform bei den Australopithecinen bedeutet einen unterschiedlichen Bewegungsablauf im Gehen, der sich offenbar in einem mehr watschelnden Gang äussert, denn das Becken dürfte nicht optimal stabilisiert worden sein.

Zweibeiniges Gehen und Rennen ist durch ein einbeiniges, exzentrisches Abstossen dominiert. Dabei droht der Körper, sich um die Längsachse zu drehen. Um dies zu verhindern, erfolgt im Oberkörper eine Gegenbewegung, die von einem aktiven Armschwung begleitet ist. Dieses gegengleiche Armschwingen ist umso kräftiger, je schneller gelaufen wird. Sie werden zudem durch eine Rumpfordrehung unterstützt, wobei sich die Schulterachse gegenüber der Beckenachse um $\pm 20^\circ$ verdreht. Aufgrund der Rumpfkonstruktion müssen wir annehmen, dass die Australopithecinen unfähig waren, extreme Torsionsbewegungen durchzuführen (SCHMID, 1991). Ausserdem

verunmöglichen die langen Arme eine hohe Schwungkadenz, was bedeutet, dass diese Zwischenformen nicht rennen konnten. Ihr Körperbau liesse zwar einen effektiven zweibeinigen Gang zu, jedoch zeigen sich Unterschiede zum menschlichen Gang. Das Bewegungsspektrum dieser Formen enthielt demnach einen Anteil an menschenähnlicher, zweibeiniger Fortbewegungsweise, jedoch bildet das Klettern ebenfalls einen wesentlichen Bereich, der beim Menschen extrem reduziert ist. Das Klettern wird durch zahlreiche affenähnliche Besonderheiten in Händen, Armen, Schulter und Rumpf erkennbar (FLEAGLE, 1999; MCHENRY, 1991; SUSMAN et al., 1984).

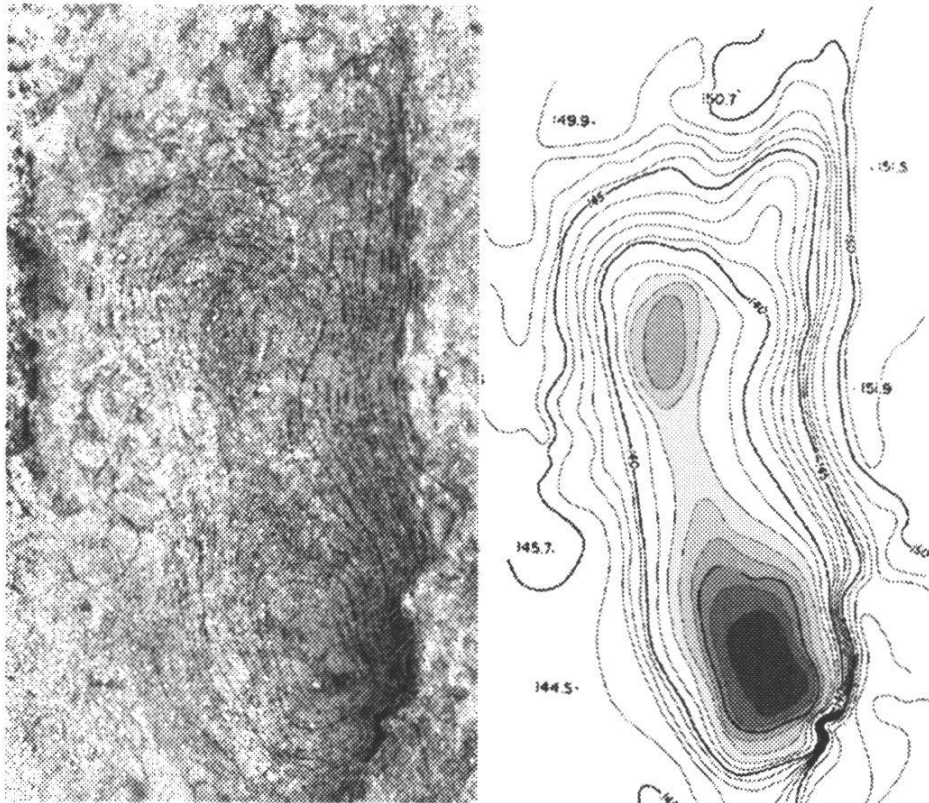


Abbildung 3: Fossiler Fussabdruck aus Laetoli (G1-33) mit Höhenkurven (Äquidistanz = 1 mm).

Die Art und Weise wie sich die Australopithecinen auf dem Boden bewegten, kann man heute auch an Indizien untersuchen, die nicht vom versteinerten Skelett abzuleiten sind. 1978 fand man am Rande eines ausgetrockneten Flussbettes in Laetoli (Tanzania) versteinerte Tierspuren, die vor 3.5 Millionen Jahren in einer feuchten Ascheschicht eines Vulkanausbruchs hinterlassen worden waren (LEAKEY und HARRIS, 1987; LEAKEY und HAY, 1979). Unter hunderten von Abdrücken fanden sich die Wege von drei menschenartigen Fusspaaren, die über mehr als 20 Meter erhalten geblieben sind. Zwei der ungefähr 1.20 Meter hohen Individuen sind unmittelbar hintereinander gegangen, wobei sich die Abdrücke überlagerten. Im Gleichschritt daneben

ging eine einzelne Person, bei der man eindeutig ein menschliches Längs- und Quergewölbe im Fuss ausmachen kann. Keiner der Abdrücke lässt eine abgespreizte Grosszehe erkennen, wie sie für den Greiffuss eines Menschenaffen typisch ist. Im Geäst gibt der affenartige Greiffuss einen festen Halt, wobei die Grosszehe mit einem Gelenk ausgestattet ist, wie wir es an der Basis des menschlichen Daumens finden. In der Greifhaltung belastet der Affe den Aussenrand des Fusses. Steht er auf dem Boden, senkt sich der Fuss ab und entspricht einem menschlichen «Plattfuss». Wie oben erwähnt besitzen die Menschenartigen einen Fuss, der eine Bogen-Sehnenkonstruktion darstellt. Das Fussgewölbe wird durch eine Sehnenplatte verspannt, die von der Basis der Zehen zur Ferse zieht. Diese Konstruktion funktioniert als Blattfeder und kann Schläge auffangen sowie Sprungenergie speichern. Beim Gehen wird durch das Auftreten der Ferse die Bewegung gebremst. Anschliessend wird das Körpergewicht über die Aussenkante auf den Fussballen übertragen. Danach verlagert sich die Reaktionskraft auf die funktionelle Achse, das heisst auf die Grosszehe. Dabei erfolgt, während dem Abstossen ein Kräfte- maximum im Endbereich des ersten Mittelfusssknochens.

Auf Einladung des Getty Conservation Trust hatten wir die Gelegenheit, die Originalfussspuren zu untersuchen und uns Gedanken zur Funktionsmorphologie zu machen (FEIBEL et al., 1996). Betrachtet man die Eintiefung eines Fussabdrucks als Dokument der Kraftübertragung im Fuss, stellt man bei den fossilen Spuren aus Laetoli eine Besonderheit fest (Abbildung 3). Im Unterschied zum normalen menschlichen Fuss, wo wir die tiefsten Eindrücke in der Ferse (Aufsetzen) sowie an der Basis der Grosszehe (Abstossen) finden, zeigen die Fossilspuren zwar eine starke Vertiefung in der Fersenregion, jedoch liegt das zweite Maximum am Endgelenk des fünften Strahls an der Aussenkante. Wir haben uns zur Aufgabe gemacht, diese Besonderheit experimentell zu analysieren.

Es wurde weiter oben darauf hingewiesen, dass die ausgleichenden Torsionsbewegungen im Rumpf als Spezialmerkmal des menschlichen Ganges zu werten sind. Kinesiologische Analysen des zweibeinigen Ganges bei kleinen Menschenaffen (*Hylobates lar*) haben gezeigt, dass die Menschenaffen keine Verwindung im Rumpf durchführen können (SCHMID und PIAGET, 1994). Sie bewegen sich in passgangähnlichen Rotationsbewegungen fort, wobei sich die Schulterachse gegenüber der Beckenachse nicht verdreht.

In unserem Experiment mussten Vorschulkinder mit einer ungefähr gleich grossen Fusslänge wie die Abdrücke aus Laetoli über eine Druckmessplatte gehen. Gleichzeitig wurde ein Fussabdruck genommen und die sich bewegenden Körpersegmente mit acht synchronen Kameras gefilmt. Ein Computer generierte zum einen eine Kraftübertragungslinie auf dem Fussabdruck. Zum anderen konnte die anguläre Abweichung der Körpersegmente aufgezeichnet werden, wobei ein spezieller Schwerpunkt auf die Verdrehung von Schulter zur Beckenachse gelegt wurde. Abbildung 4a zeigt die Kraftübertragung bei normalem Gang, wobei sich der Rumpf um $\pm 20^\circ$ verdrehte.

In einer zweiten Serie mussten die Kinder einen grossen Gymnastikball vor sich her tragen, wobei eine normale Rumpfverdrehung und die pendelnde Ausgleichsbewegung der Arme verhindert wurde. Daraus resultierte ein affenähnlicher «Passgang». Erstaunlicherweise veränderte sich das Bild der Kraftübertragung im Fuss auf charakteristische Art und Weise (Abbildung 4b). Neben dem Fersenmaximum erfolgte ein starker Druck am Ende des fünften Mittelfussknochens auf der Aussenseite des Fusses. Dies widerspiegelt exakt die bei den 3.5 Mio. Jahre alten Fusspuren angetroffenen Verhältnisse.

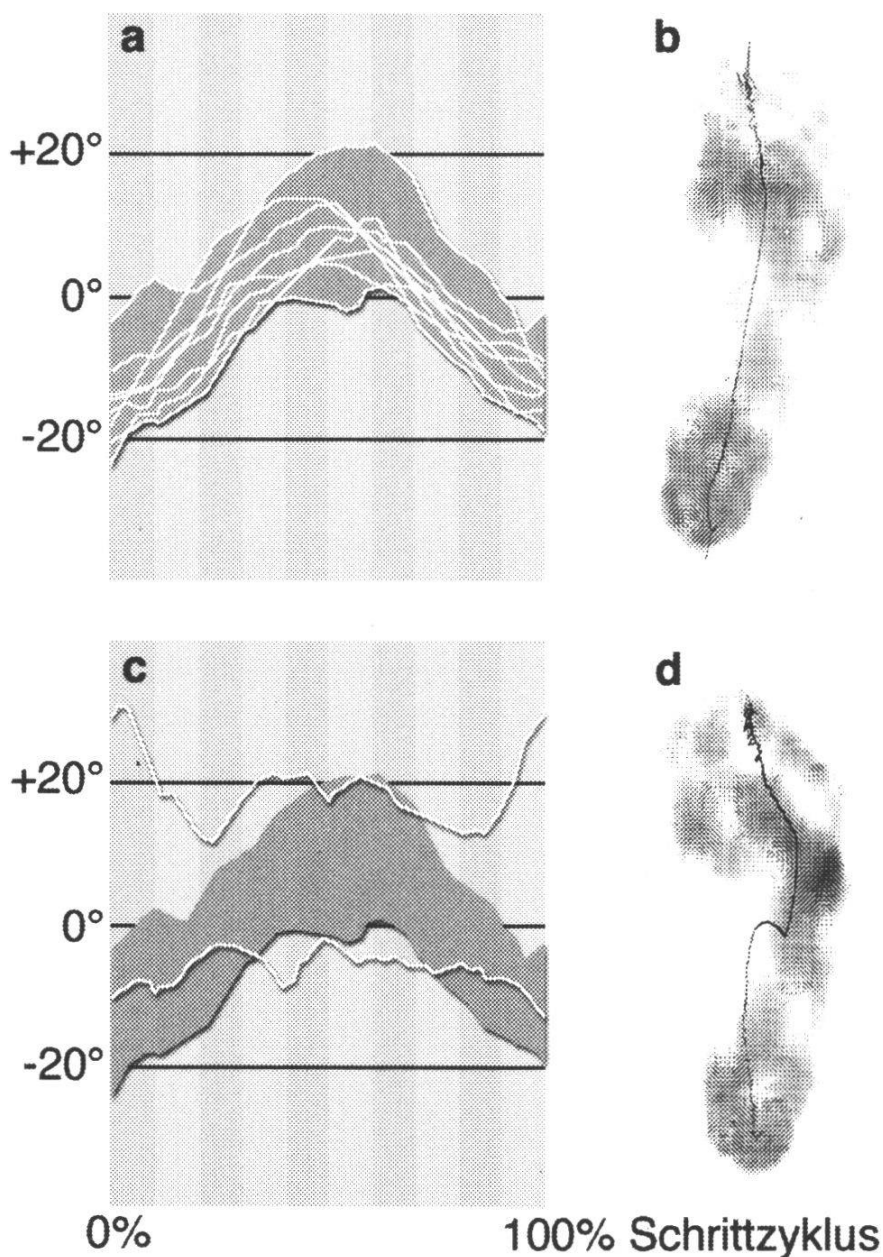


Abbildung 4: Graphische Auswertung der Bewegungsanalysen (**a,b** = normale Torsionsbewegungen; **c,d** = passgangähnliche Rotationsbewegungen). **a,c** = Verdrehung der Schulterachse gegenüber der Beckenachse; **b,d** = Fussabdruck mit der Linie der Kraftübertragung.

Dies mag bedeuten, dass die Fortbewegungsweise der Übergangsformen vom Vierbeiner zum Zweibeiner perfekt zweibeinig aufrecht stehen und gehen vermochten, jedoch ist ein deutlicher Unterschied zum Gang des anatomisch modernen Menschen festzustellen. Zum einen vollführten die Australopithecinen passgangähnliche Rotationsbewegungen. Zum anderen vermochten sie kaum zu rennen. Ihre Lebensweise war demnach noch stark an die Bäume gebunden. Hier mögen sie Nahrung und Schutz gefunden haben.

Mit 1.6 Millionen Jahren haben wir den frühesten Nachweis eines fast perfekten menschlichen Skeletts. Ausgegraben wurde diese Form am Westufer des Turkanasees bei Nariokotome (BROWN et al., 1985; WALKER und LEAKEY, 1993). Die Wissenschaft ordnet dieses Skelett eines Jünglings der Gattung *Homo* zu. Dies nicht zuletzt aufgrund des menschlichen Bewegungsapparates. Damit war der Schritt zum perfekten menschlichen Zweibeiner eingeleitet, wobei sich in der weiteren Entwicklungsgeschichte funktionell keine grossen Veränderungen mehr einstellten.

Vielfach fragt man sich nach der Zukunft unserer Körpergestalt und verweist oft auf so genannte Unzulänglichkeiten in unserem Körperbau, die zu Rückenproblemen, Krampfadern und anderem mehr führen. Diese krankhaften Umstände sind zwar eng mit der aufrechten Körperhaltung verbunden. Unser Haltungsapparat besteht jedoch nicht nur aus dem Skelett, sondern wird durch Bänder und vor allem auch durch die Muskeln gehalten. Unsere sitzende Lebensweise und die damit verbundene Bewegungsarmut ist der Hauptgrund für die eben erwähnten Probleme. An und für sich ist unser Körper optimal an den aufrechten Gang angepasst. Allerdings muss der Haltungsapparat entsprechend trainiert werden. Wird dieser jedoch vernachlässigt, streben wir wieder dem Vierbeinerstadium entgegen, wobei der Übergang, wie eingangs erwähnt, dem «Dreibeiner» entspricht. Wir behelfen uns dabei eines Gehstocks!

Literatur

- ABITBOL, M.M. (1995) Lateral view of *Australopithecus afarensis*: primitive aspects of bipedal positional behavior in the earliest hominids. *Journal of Human Evolution* 28:211–229.
- BERGE, C., ORBAN-SEGEBARTH, R., and SCHMID, P. (1984) Obstetrical interpretation of the australopithecine pelvic cavity. *Journal of Human Evolution* 13:573–587.
- BROOM, R., and ROBINSON, J.T. (1950) Notes on the Pelves of the Fossil Ape-Men. *American Journal of Physical Anthropology* 8:489–494.
- BROWN, F., HARRIS, J., LEAKEY, R., and WALKER, A. (1985) Early *Homo erectus* skeleton from West Lake Turkana, Kenya. *Nature, London* 316:788–797.
- ELFTMAN, H., and MANTER, J. (1935a) Chimpanzee und human feet in bipedal walking. *American Journal of Physical Anthropology* 20:69–79.
- ELFTMAN, H., and MANTER, J. (1935b) The evolution of the human foot, with especial reference to the joints. *Journal of Anatomy* 70:56–67.
- FEIBEL, C.S., AGNEW, N., LATIMER, B., DEMAS, M., MARSHALL, F., WAANE, S.A.C., and SCHMID, P. (1996) The Laetoli Hominid Footprints – A Preliminary Report on the Conservation und Scientific Restudy. *Evolutionary Anthropology* 4:149–154.
- FLEAGLE, J.G. (1999) *Primate Adaptation und Evolution*. San Diego: Academic Press, Inc.
- HAILE-SELASSIE, Y. (2001) Late Miocene hominids from the Middle Awash, Ethiopia. *Nature* 412:178 – 181.
- HÄUSLER, M.F., and SCHMID, P. (1995) Comparison of the pelves of Sts 14 und AL 288–1: implications for birth und sexual dimorphism in australopithecines. *Journal of Human Evolution* 29:363–383.
- JOHANSON, D.C., COPPENS, Y., and TAIEB, M. (1976) Pliocene hominid remains from Hadar, central Afar, Ethiopia. In PVC Tobias, Y. (ed.): *Les plus anciens hominidés*. IXe Congr. UISPP, Nice. Paris: CNRS, pp. 120–137.
- JOHANSON, D.C., LOVEJOY, O.C., KIMBEL, W.H., WHITE, T.D., WARD, S.C., BUSH, M.E., LATIMER, B.M., and COPPENS, Y. (1982) Morphology of the pliocene partial hominid skeleton (A.L. 288–1) from the Hadar formation, Ethiopia. *American Journal of Physical Anthropology* 57:403–451.
- JOHANSON, D.C., and TAIEB, M. (1976a) Plio-Pleistocene hominid discoveries in Hadar, Ethiopia. *Nature, London* 260:293–297.
- JOHANSON, D.C., and TAIEB, M. (1976b) A preliminary anatomical diagnosis of the first Plio-Pleistocene hominid discovered in the Central Afar, Ethiopia. *American Journal of Physical Anthropology* 45:217–233.
- JOHANSON, D.C., WHITE, T.D., and COPPENS, Y. (1978) A new species of the genus *Australopithecus* (Primates: Hominidae) from the Pliocene of Eastern Africa. *Kirtlandia* 28:1–14.
- LEAKEY, M.D., and HARRIS, J.M. (1987) *Laetoli – A Pliocene Site in Northern Tanzania*. Oxford: Clarendon Press.
- LEAKEY, M.D., and HAY, R.L. (1979) Pliocene footprints in the Laetoli Beds at Laetoli, northern Tanzania. *Nature, London* 278:317–323.

- LEAKEY, M.G., FEIBEL, C.S., MCDUGALL, I., und WALKER, A. (1995) New four-million-year-old hominid species from Kanapoi und Allia Bay, Kenya. *Nature*, London 376:565–571.
- MARTELLI, S.A., und SCHMID, P. (2000) Functional morphology of the lumbar vertebral column in modern *Homo sapiens*, great apes und australopithecines. *American Journal of Physical Anthropology Suppl.* 30:221.
- MARTIN, R.D. (1990) *Primate Origins und Evolution – A phylogenetic reconstruction*. London: Chapman und Hall.
- MCHENRY, H.M. (1991) First steps? Analyses of the postcranium of early hominids. In Y. Coppens und B. Senut (eds.): *Origine(s) de la Bipédie chez les Hominidés*, Cahier de Paléanthropologie. Paris: Editions du CNRS, pp. 133–141.
- ROBINSON, J.T. (1972) *Early hominid posture und locomotion*. Chicago und London: The University of Chicago Press.
- SANDERS, W.J. (1990) Weight transmission through the lumbar vertebrae und sacrum in australopithecines. 59th Ann. Meeting American Ass. phys. Anthropol., pp. 289.
- SCHMID, P. (1983) Eine Rekonstruktion des Skelettes von A.L. 288–1 (Hadar) und deren Konsequenzen. *Folia Primatologica* 40:283–306.
- SCHMID, P. (1991) The trunk of the australopithecines. In Y Coppens und B Senut (eds.): *Origine(s) de la Bipédie chez les Hominidés*, Cahier de Paléanthropologie. Paris: Editions du CNRS, pp. 225–234.
- SCHMID, P., und PIAGET, A. (1994) Three-dimensional kinematics of bipedal locomotion. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie* 80:79–87.
- SUSMAN, R.L., STERN JR., J.T., und JUNGERS, W.L. (1984) Arboreality und bipedality in the Hadar hominids. *Folia Primatologica* 43:113–156.
- WALKER, A., und LEAKEY, R.E.F. (1993) *The Nariokotome Homo Erectus Skeleton*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- WARD, C., LEAKEY, M., und WALKER, A. (1999) The New Hominid Species *Australopithecus anamensis*. *Evolutionary Anthropology* 7:197–205.
- WHITE, T.D., SUWA, G., und ASFAW, B. (1994) *Australopithecus ramidus*, a new species of early hominid from Aramis, Ethiopia. *Nature*, London 371:306–312.
- WHITE, T.D., SUWA, G., und ASFAW, B. (1995) *Ardipithecus ramidus*, a new species of early hominid from Aramis, Ethiopia. *Nature*, London 375:88.
- WOLDEGABRIEL, G., HAILE-SELASSIE, Y., RENNE, P.R., HART, W.K., AMBROSE, S.H., ASFAW, B., HEIKEN, G., und WHITE, T. (2001) Geology und palaeontology of the Late Miocene Middle Awash valley, Afar rift, Ethiopia. *Nature* 412:175 – 178.
- WOLDEGABRIEL, G., WHITE, T.D., SUWA, G., RENNE, P., HEINZELIN, J.D., HART, W.K., und HEIKEN, G. (1994) Ecological und temporal placement of early Pliocene hominids at Aramis, Ethiopia. *Nature*, London 371:330–333.
- Peter Schmid: Vom Vierbeiner zum Zweibeiner 8