

deutung, evtl. auch Spurenelemente oder Wachstumsstoffe. Die untersuchten Wasserschlauch-Arten hatten dann den besten Allgemeinzustand, wenn sie sowohl Algen und Pollen als auch Tiere gefangen hatten.

Die Autoren stellten außerdem fest, dass etwa ein Drittel, u. U. auch noch mehr Saugfallen keine Tiere enthielten. Das war insofern überraschend, als bisher die Meinung vorherrschte, die Öffnung der Fallen würde ausschließlich durch die Berührung durch Tiere ausgelöst werden. Offensichtlich können sich die Fallen aber auch spontan öffnen, wenn sie längere Zeit nicht gereizt wurden, und saugen dann das Umgebungswasser mitsamt Algen usw. auf. Dies hatte man bisher nur in Kultur beobachtet und Bedeutung und Umfang des Phänomens waren unklar.

Auf jeden Fall gehören die Fang-einrichtungen des Wasserschlauchs unbestritten zu den raffiniertesten Konstruktionen des Pflanzenreichs. Das hat immer wieder neu die Frage aufgeworfen, ob solche fein aufeinander abgestimmten Abläufe das Ergebnis schrittweiser Zufallsprozesse sein können oder ob dahinter eher ein Plan (Design) steht. Wie wir kürzlich in dieser Zeitschrift im Rahmen einer Buchrezension berichteten (KUTZELNIGG 2013), hat sich der Genetiker W. E. LÖNNIG ausführlich mit dieser Thematik beschäftigt und die Diskussion über das Für und Wider im Internet und neuerdings auch in Buchform veröffentlicht. Es sei an dieser Stelle noch einmal betont, dass die von Verfechtern der Zufallsentstehung gerne angeführten denkbaren, aber nicht beobachteten Zwischenstufen als solche noch keine Beweiskraft haben, solange nicht gezeigt wurde, dass diese Zwischenstufen in einer konkreten Entwicklungslinie auch tatsächlich existiert haben und durch bekannte Prozesse überbrückbar sind.

[BARTHOLOTT W, POREMBSKI S, SEINE R & THEISEN I (2004) Karnivoren. Biologie und Kultur fleischfressender Pflanzen. Stuttgart: Ulmer • HARDER R & ZEMLIN I (1967) Blütenbildung von *Pinguicula lusitanica* in vitro durch Fütterung mit Pollen. *Planta* 78, 72-78 • KOLLERPEROUTKA M, LENDL T, WATZKA M & ADLASSING W (2014) Capture of algae promotes growth and propagation in aquatic *Utricularia*. *Ann. Bot.* doi: 10.1093/aob/mcu236 • KUTZELNIGG H (2013) Rezension: Wolf-Ekkehard Lönnig

(2012) Die Evolution der karnivoren Pflanzen: Was die Selektion nicht leisten kann: Das Beispiel *Utricularia* (Wasserschlauch). 3. Aufl. Stud. Integr. J. 20, 127-129.] H. Kutzelnigg

■ Viren können für ihre Wirte nützliche Wirkung haben

Viren haben einen schlechten Ruf, wir kennen sie als Krankheitserreger unterschiedlichster Organismen. Sie infizieren den Wirt, integrieren ihr Erbgut in dessen DNA und vermehren sich auf dessen Kosten. Virale Infektionen verursachen verschiedene, jeweils charakteristische Krankheitsbilder. In einer Untersuchung zeigten Viren im Darm von keimfreien Mäusestämmen positive Auswirkungen. Der Darm dieser Mäuse weist keine Darmflora auf, d. h. der Darm enthält nicht wie üblich eine komplexe Vielfalt von Bakterien. Eine Behandlung mit Antibiotika bewirkt eine ähnliche Verarmung und Reduktion der Darmflora. Fehlen die Mikroben im Darm von Mäusen, hat das nachteilige Folgen. So ändert sich die Struktur des Darmgewebes, die Darmzotten sind dünner ausgebildet, die Blutzellen der Immunabwehr, Lymphocyten (B- und T-Zellen) werden in viel geringerer Konzentration ausgebildet, dadurch sind die Mäuse anfälliger für Verletzungen und bakterielle Krankheitserreger (WANG & PFEIFFER 2014). KERNBAUER et al. (2014) infizierten solche keimfreien Mäuse und solche, die mit Antibiotika behandelt worden waren, mit Noroviren (RNA-Viren ohne Hülle). Sie konnten zeigen, dass in den infizierten Mäusen aufgrund der Vireninfektion sowohl die korrekte Gewebestruktur der Darmschleimhaut als auch die Immunabwehr wiederhergestellt werden. Die Autoren diskutieren, dass unter normalen Umständen die positiven Effekte von Viren durch die im Organismus vorhandenen Bakterien überdeckt werden und bisher aus diesem Grund nur selten aufgefallen sind. Möglicherweise könnte man durch gezielte Verabreichung von Viren Patienten Linderung verschaffen, deren Darmflora durch Antibiotikatherapien in Mitleidenschaft gezogen worden sind.

ROOSINCK hatte bereits 2011 in einem Überblicksbeitrag Viren beschrieben, die unterschiedlichste Lebewesen wie Bakterien, Insekten, Pilze, Pflanzen und Tieren infizieren und für die jeweiligen Wirtsorganismen nützliche Funktionen erfüllen. Die Autorin schreibt auch, dass die Entwicklung dieser positiven Wirkung von Viren in den meisten Fällen ein Rätsel ist.

Überhaupt ist die mögliche Entstehung von Viren Gegenstand von Diskussionen. Einerseits erinnern mobile Elemente im Genom, sogenannte springende Gene, an den Replikationszyklus von Viren; andererseits sind Megaviren beschrieben, Riesenviren, die hinsichtlich ihrer Größe und ihres Genoms an Bakterien heranreichen.

Die jüngsten Untersuchungen an Viren bestätigen jedenfalls, dass sie lohnende Studienobjekte sind und auch zukünftig noch überraschende Erkenntnisse liefern können.

[KERNBAUER E, DING Y & CADWELL K (2014) An enteric virus can replace the beneficial function of commensal bacteria. *Nature* 516, 94-98 • WANG Y & PFEIFFER JK (2014) A backup for bacteria. *Nature* 516, 42-43 • ROOSINCK MJ (2011) The good viruses: viral mutualistic symbioses. *Nature Rev. Microbiol.* 9, 99-108.] H. Binder

■ Wie sicher sind Deutungen in der Paläanthropologie? Das Beispiel Fußbeweglichkeit und zweibeinige Fortbewegung

In der Diskussion um die vermutete Evolution des zweibeinigen menschlichen Ganges spielt die Beweglichkeit des Midfoot* (vorderer Fußwurzelbereich) eine große Rolle (Abb. 1).

Seit Jahrzehnten wird der sogenannte „midtarsale break“ – das ist eine Beugung des Midfoot nach plantar (zur Fußsohle hin) – als wesentliches Merkmal nichtmenschlicher Primaten bei zweibeiniger Fortbewegung angesehen. Dieser „Bruch“ wird typischerweise während der Standphase des Gehens beschrieben, wenn der Midfoot nach dorsal (fußrückenwärts) beugt, der Hacken vom Erdboden abgehoben ist und der Vorfuß noch Kontakt mit dem Erdboden hat (Abb. 2).

Glossar

frühe Homininen: Übergangsformen zwischen großaffenähnlichen und menschlichen Wesen („Vormenschen“ oder „Affenmenschen“)

Midfoot oder midtarsaler Fuß (vorderer Fußwurzelbereich): Os cuboideum, Os naviculare, Ossa cuneiformia

talonaviculares Gelenk: Gelenk zwischen dem Talus und dem Os naviculare

calcaneocuboidales Gelenk: Gelenk zwischen dem Calcaneus und dem Os cuboideum

laterales cubometatarsales Gelenk: Gelenk zwischen dem Os cuboideum und dem Os metatarsale 5

Im Gegensatz zum Schimpanse besitzt der Mensch nach klassischer Vorstellung keinen mobilen Midfoot, sondern einen starren Midfoot mit Längsfußgewölbe. Dieses wird als wichtige Struktur für ein effizientes Gehen auf zwei Beinen angesehen. Das Auftreten des Längsfußgewölbes mit Verlust der midtarsalen Beweglichkeit wird deshalb als ein Schlüsselereignis im Rahmen der Entstehung des zweibeinigen menschlichen Ganges interpretiert.

Folgerichtig versuchen Paläanthropologen, knöcherne Merkmale bei frühen fossilen Homininen* zu identifizieren, die auf die Entstehung des Längsfußgewölbes und den Verlust der Midfoot-Beweglichkeit hinweisen. Es wurden jedoch schon einige Studien publiziert, die diese Vorstellungen stark in Frage stellen (Übersicht bei BRANDT 2014). GREINER & BALL haben nun im *American Journal of Physical Anthropology* 2014 eine weitere interessante Untersuchung zu diesem Thema vorgelegt.

In der Studie von GREINER & BALL (2014) wurden an Fußknochen von menschlichen Leichen und Kadavern von Schimpansen, Pavianen und Makaken Anheftungen („pins“) vorgenommen und die Lage dieser Anheftungen während Beuge-Streck-Bewegungen überwacht. Das Schienbein wurde dabei von den Forschern über den Fuß bewegt. Es wurden die Flexion-Extensions-Muster und die damit verbundene Ausrichtung der Drehachsen des talonavicularen, calcaneocuboidalen und lateralen cubometatarsalen Gelenkes* (Abb. 1) untersucht.

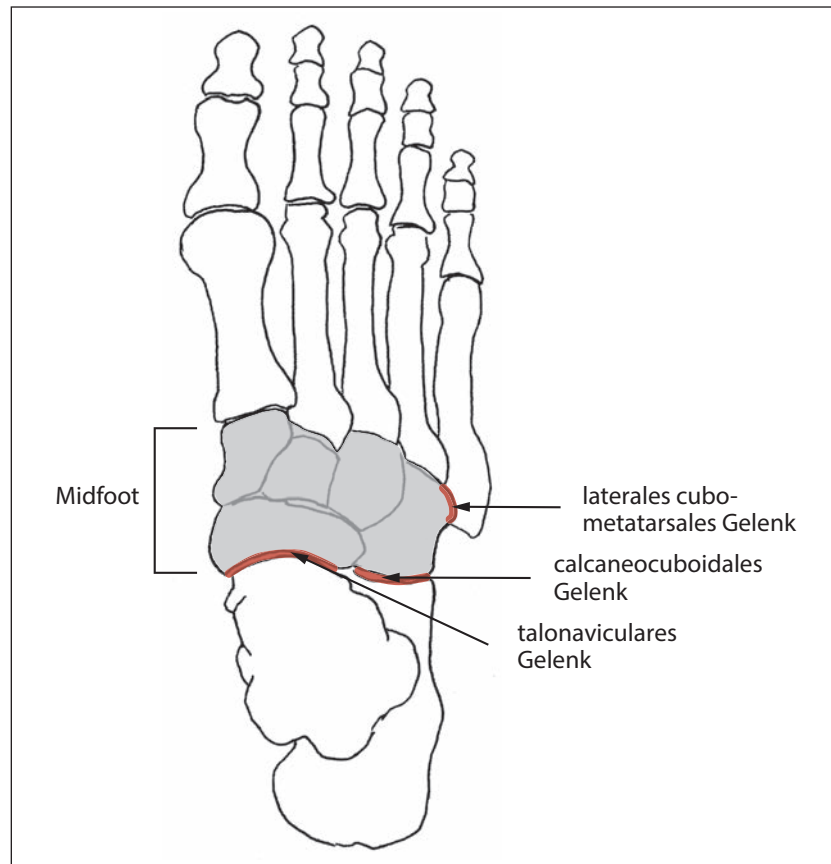


Abb. 1 Das rechte Fußskelett des Menschen.

Die Ergebnisse von GREINER & BALL (2014) zeigen, dass die Midfoot-Beweglichkeit primär im talonavicularen und lateralen cubometatarsalen Gelenk und nicht im calcaneocuboidalen Gelenk stattfindet. Noch überraschender ist jedoch, dass sowohl das Ausmaß der Bewegung als auch die Ausrichtung der Gelenkachsen bei Schimpanse und Mensch ähnlich sind. Welche funktionellen Konsequenzen ergeben sich daraus für Mensch und Schimpanse und welche Bedeutung haben diese Ergebnisse für die Interpretation fossiler homininer Fußknochen?

Entgegen klassischer Vorstellungen ist sowohl beim Menschen als auch beim Schimpanse das Potential für einen midtarsalen „Bruch“ und für einen „Sperrmechanismus“ zur Erhöhung der Fußsteife im Midfoot vorhanden. Die Fähigkeit zum midtarsalen „Bruch“ nicht nur beim Schimpanse, sondern auch beim Menschen ergibt sich aus der ähnlichen Beuge- und Streckfähigkeit im talonavicularen und lateralen cubometatarsalen Gelenk.

Beide Gelenke zeigen bei Mensch und Schimpanse auch eine ähnlich

divergierende Ausrichtung, die einen „Sperrmechanismus“ im Midfoot bewirkt. Dieser „Sperrmechanismus“ verwandelt den menschlichen Fuß in einen steifen Hebel, der beim zweibeinigen Gehen ein effektives Abstoßen des Fußes vom Erdboden bewirkt. Dieser Mechanismus wird seit Jahrzehnten als wichtige Entwicklung im Rahmen der Entstehung des menschlichen zweibeinigen

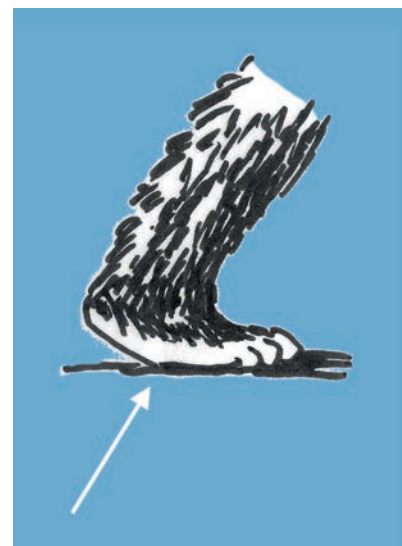


Abb. 2 Rechter Fuß des Schimpansen in der Ansicht von außen mit midtarsalem „Bruch“ (Pfeil). (Nach SUSMAN 1983)

Ganges angesehen. Der „Sperrmechanismus“ wird mit Zunahme der Divergenz der Ausrichtung der Gelenkachsen effektiver, da mit größerer Divergenz die Wahrscheinlichkeit einer simultanen Beugung-Streckung des medialen und lateralen Fußes geringer wird. Die unterschiedliche Achsenausrichtung des Innen- und Außenfußes wird als verantwortlich für die Verhinderung einer größeren Beweglichkeit im talonavicularen und lateralen cubometatarsalen Gelenk während der Fußabdruckphase angesehen, auch wenn jedes Gelenk für sich allein stärker mobil ist.

Überraschend ist, dass Schimpansen nicht nur eine ähnlich divergierende Ausrichtung der inneren talonavicularen zur äußeren cubometatarsalen Gelenkachse zeigen, sondern dass die Variabilität der Ausrichtung sogar geringer als beim Menschen ist. GREINER & BALL (2014) wollen daraus allerdings nicht schließen, dass der „Sperrmechanismus“ des Midfoot beim Schimpanse noch effektiver als beim Menschen ist.

GREINER & BALL (2014) haben mit ihrer Untersuchung nachgewiesen, dass der Midfoot von Mensch und Schimpanse trotz unterschiedlicher Morphologie eine ähnliche Flexibilität mit der Fähigkeit zum midtarsalen „Bruch“ und zur Fußversteifung besitzt. Diese Fähigkeiten werden bei Mensch und Schimpanse im Leben aber in verschiedener Weise in Anspruch genommen, denn sie praktizieren eine sehr unterschiedliche Fortbewegung.

Die Studienergebnisse von GREINER & BALL (2014) haben große Konsequenzen für die Interpretation der Fußknochen fossiler Homininen. Entgegen z.B. LOVEJOY et al. (2009), WARD et al. (2011), ZIPFEL et al. (2011) und PROCTOR (2013) können auf der Basis der Knochenmerkmale des Fußes früher fossiler Homininen keine Schlüsse auf die Fußbeweglichkeit und auf ein äußeres Längsfußgewölbe und damit auf bipede Fähigkeiten gezogen werden (siehe auch BRANDT 2014). [BRANDT M (2014) Wie sicher sind Deutungen in der Paläanthropologie? *Australopithecus sediba* und sein merkwürdiges Merkmalsmosaik. W+V Special Paper B-14-3 ; <http://www.wort-und-wissen.de/artikel/sp/b-14-3-sediba.pdf> (Zugriff am 20.4.2015) • GREINER

TM & BALL KA (2014) Kinematics of primate midfoot flexibility. *Am. J. Phys. Anthropol.* 155, 610-620 • LOVEJOY CO, LATIMER B, SUWA G, ASFAW B & WHITE TD (2009) Combining prehension and propulsion: the foot of *Ardipithecus ramidus*. *Science* 326, 72e1-72e8 • PROCTOR DJ (2013) Proximal metatarsal articular surface shape and the evolution of a rigid lateral foot in hominins. *Journal of Human Evolution* 65, 761-769 • SUSMAN RL (1983) Evolution of the human foot: evidence from Plio-Pleistocene hominids. *Foot & Ankle* 3, 365-376 • WARD CV, KIMBEL WH & JOHANSON DC (2011) Complete fourth metatarsal and arches in the foot of *Australopithecus afarensis*. *Science* 331, 750-753 • ZIPFEL B, DESILVA JM, KIDD RS, CARLSON KJ, CHURCHILL SE & BERGER LR (2011) The foot and ankle of *Australopithecus sediba*. *Science* 333, 1417-1420.] M. Brandt

■ Wie sicher sind Deutungen in der Paläanthropologie? Das Beispiel der Muskelstärke

In der Paläanthropologie schließen Forscher bei fossilen Homininen von der Größe und Struktur der Knochenansatzstellen für die Muskulatur (Enthesis) auf den Ausbildungsgrad der Muskeln und interpretieren diesen dann im Rahmen der Manipulationsfähigkeiten und des Fortbewegungsverhaltens. Ein neueres Beispiel für solch einen Schluss findet sich bei DESILVA et al. (2013).

Bei *Australopithecus sediba* ist der Ansatz für den M. biceps femoris am oberen Teil des Wadenbeins stark ausgebildet (deutlicher Knochenanbau), was nach DESILVA et al. (2013) auf eine hohe Belastung dieses Muskels hinweist. Die Autoren deuten dieses Merkmal bei diesem frühen Homininen im Rahmen eines hypothetischen hyperpronatorischen zweibeinigen Ganges. Bei der Hyperpronation dreht sich das ganze Bein während der Standphase nach innen und belastet besonders Muskeln, die seitlich am Bein ansetzen wie den langen Kopf des M. biceps femoris. Diese Haltung findet sich heute nur als krankhafter Gang beim Menschen. Ist es aber möglich, vom Ausprägungsgrad der Knochenansatzstelle auf die Stärke des ansetzenden Muskels zu schließen wie dies DESILVA et al. (2013) praktizieren? ANN ZUMWALT (2006) hat zu diesem Thema eine interessante Untersuchung vorgelegt.

Sie quantifizierte und verglich die Morphologie des Knochenansatzes und die ansetzende Muskelmasse von zwei Gruppen erwachsener weiblicher Schafe. Die eine Gruppe lief auf einem Laufband eine Stunde pro Tag, fünf Tage in der Woche, 90 Tage lang, während die andere Gruppe sesshaft lebte.

Nach Trainingsabschluss wiesen ungeachtet deutlicher Unterschiede der Muskelmasse beide Schafgruppen keine Unterschiede in der Enthesismorphologie an den sechs untersuchten Ansatzstellen (M. spinodeltoideus, M. acromiodeltoideus und M. pectoralis superficialis) auf. Das Training hatte also einen deutlichen Einfluss auf das Muskelwachstum, jedoch keine sichtbare Wirkung auf den Knochenansatz der Muskeln. ZUMWALT (2006) schlussfolgerte daraus, dass es keine direkte Beziehung zwischen der Muskelgröße oder Muskelaktivität und der Knochenansatzmorphologie gibt. Die Forscherin meinte aber, dass das Fehlen von knöchernen Reaktionen darin begründet sein könnte, dass die Untersuchung an erwachsenen Tieren durchgeführt wurde. Sie empfahl deshalb Untersuchungen an noch wachsenden Tieren mit noch sehr plastischen Knochen. Diese Empfehlung haben RABEY et al. (2014) mit einer Studie an subadulten Mäusen umgesetzt. Für diese Art von Studien sind Mäuse sehr geeignete Untersuchungsobjekte, denn die Ergebnisse können auf den Menschen übertragen werden. Das ist möglich, weil die innere Architektur der untersuchten oberen Extremitätenmuskeln der Mäuse der des Menschen ähnlich ist. Das subadulte Alter ist auch von Vorteil, weil Mäuse die höchste Knochendichte ungefähr im Alter von vier Monaten vor dem Epiphysenschluss (Abschluss des Wachstums) erreichen. Der Experimentalzeitraum der Studie umfasste die rascheste Phase des Skelettwachstums und die Reife der Mäuse. Bei Mäusen und anderen kleinen Säugetieren sind Reaktionen des Knochengewebes auf erhöhte Belastungen gut belegt. Untersuchungen an diesen Tieren haben deshalb viel zum Verständnis der Knochenbiologie des Menschen beigetragen.