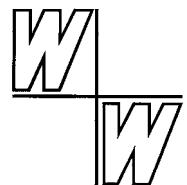


Hatte *Homo erectus* eine verkürzte Kindheit ähnlich derjenigen der Menschenaffen?

Benjamin Scholl



März 2023



https://www.wort-und-wissen.org/wp-content/uploads/b-22-3_homo-erectus.pdf

Bild: Der Schädel des Turkana Boy mit Zähnen. (Wikimedia: BAHN, Paul G, CCo)

Inhalt

1. Einleitung	3
2. Methoden zur Bestimmung des Individualalters	4
3. Die Bestimmung des Zahnalters	5
3.1 Zahnbildungsdauer nach DEAN et al. 2001	5
3.2 Zahndurchbruch und Zahnentwicklung	6
3.3 Mikroanalysen nach DEAN & SMITH 2009	8
3.4 Zwischenfazit zum Zahnalter	9
4. Altersbestimmung und Körperwachstum	9
5. Ein Überblick über die Individualentwicklung von <i>Australo- pithecus</i> im Kontrast zu <i>Homo erectus</i>	12
6. Fazit	14
7. Anhang – Tabellen	15
8. Anmerkungen – Literatur	20

Hatte *Homo erectus* eine verkürzte Kindheit ähnlich derjenigen der Menschenaffen?

In den letzten Jahren wird immer häufiger das Argument einer verkürzten und damit intermediären Kindheitsdauer bei *Homo erectus* angeführt, um diesen als Übergangsform von großaffenähnlichen Vorfahren zu heutigen Menschen zu charakterisieren. Doch wie gut begründet sind Rekonstruktionen einer verkürzten Individualentwicklung beim vollständigsten *Homo-erectus*-Fossil namens Turkana Boy?

Benjamin Scholl (2022)

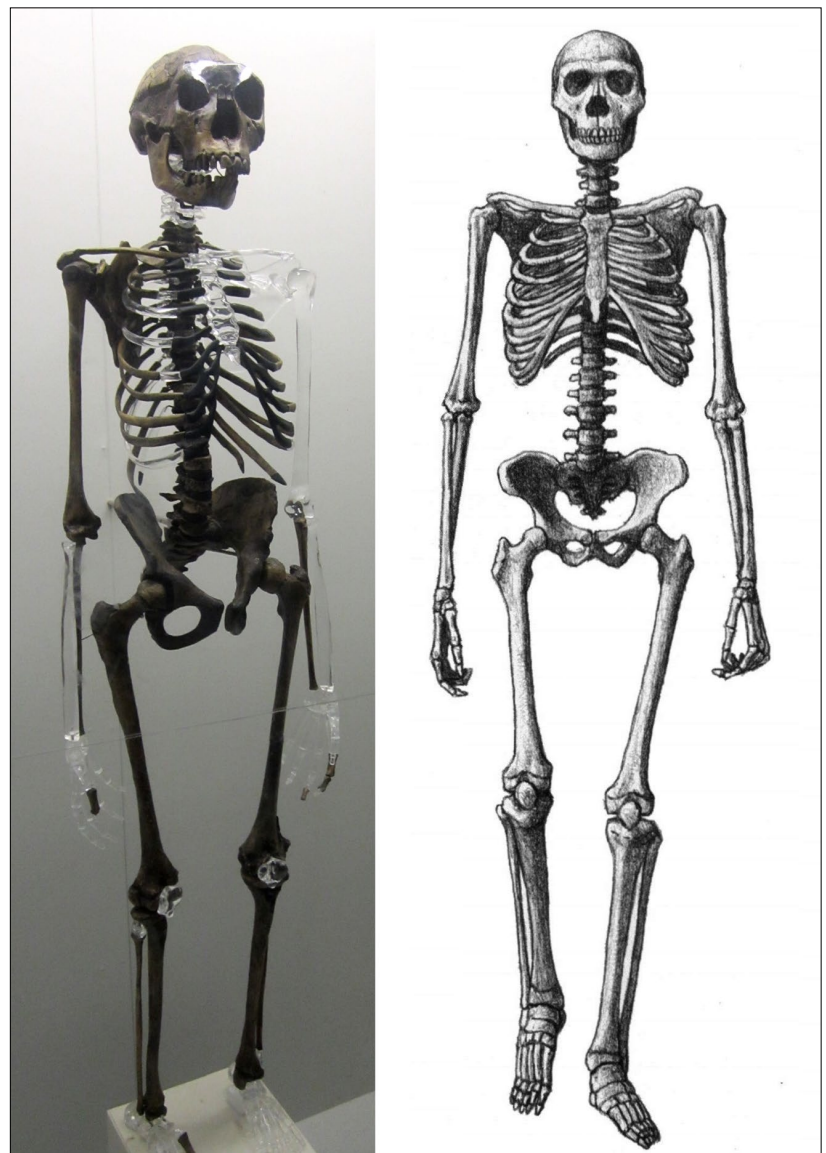
1. Einleitung

Die Paläoanthropologen COLLARD & WOOD (2015, Tab. 5) ordnen *Homo erectus* der Gattung *Homo* (Mensch) zu – im Gegensatz zu den sogenannten „*Homo*“-Arten *habilis* und *rudolfensis*, die eigentlich zu großaffenähnlich bzw. zu *Australopithecus*-ähnlich für eine Zuordnung zur Gattung *Homo* sind. Aus Grundtyp-Perspektive, die von geschaffenen Arten ausgeht, kann man dementsprechend *Homo erectus* als zugehörig zu den echten Menschen betrachten (vgl. BRANDT 2017). Die Zuordnung zu *Homo* begründen COLLARD & WOOD (2015) mit vier von sechs diagnostisch sehr relevanten Merkmalen, die bei *Homo erectus* (bzw. *ergaster*) menschlich ausgeprägt sind: Körpergröße, Körperform, Fortbewegungsweise und Ausprägung der Kiefer bzw. der Zähne. Das fünfte Merkmal der Gehirngröße halten die Autoren hingegen für ähnlich zum großaffenartigen *Australopithecus* (s. aber als detaillierte Erwiderung SCHOLL 2022). Das sechste Merkmal, die Kindheitsdauer bzw. Individualentwicklung von *Homo erectus*, wird von COLLARD & WOOD (2015) als intermediär zwischen den großaffenähnlichen *Australopithecinen* und den heutigen Menschen eingestuft.

Die Individualentwicklung moderner Menschen soll nach COLLARD & WOOD (2015, 2134f; vgl. DEAN & SMITH 2009) von der Geburt bis zum ausgewachsenen Organismus ca. doppelt so lang wie die bei afrikanischen Menschenaffen gewesen sein. Wenn die Kindheitsdauer nun bei *Homo erectus* zwischen Menschenaffen und Menschen gelegen haben sollte, könnte man dies als evolutionäres Argument für eine Übergangstellung von *Homo erectus* anführen. Ob dieses Argument aber tatsächlich auf gut

begründeten Daten beruht, wird im Folgenden exemplarisch an verschiedenen Kriterien untersucht.

Abb. 1 Der Turkana Boy (Links: Skelett, Rechts: Skizze) besitzt insgesamt ein menschenähnliches Skelett. (Wikimedia: Reptonix, CC BY-SA 3.0; Mauricio Antón, published with Alan Turner: Africa – the Evolution of a Continent and its Large Mammal Fauna, CC BY 4.0)



kompakt

Eine verkürzte und damit intermediäre Kindheitsdauer von *Homo erectus* wird aus evolutionärer Perspektive häufig als Argument dafür verwendet, dass dieser eine Übergangsform zwischen großaffenähnlichen Australopithecinen und Menschen war und damit kein vollwertiger Mensch gewesen sei (vgl. COLLARD & WOOD 2015). Da der Turkana Boy ein altes und ziemlich vollständiges *Homo-erectus*-Fossil darstellt, ist unter den Wissenschaftlern eine hitzige Debatte über die Dauer von dessen Individualentwicklung entbrannt. Der vorliegende Artikel zeigt, dass viele Kriterien zur Bestimmung von Zahn- oder Skelettalter aufgrund der extremen Vielfalt bei heutigen Schimpansen und Menschen zu großen Unsicherheiten führen. Somit ist selbst anhand fossil bekannter Merkmale wie Zustand einiger Zähne und Epiphysen (Wachs-

tumsbereiche der Knochen) oft kein eindeutiges Sterbealter ableitbar.

Aus Schöpfungs-Perspektive sollte man bei der Rekonstruktion der Individualentwicklung von *Homo erectus* von der vollen heutigen Variationsbreite der menschlichen Merkmale ausgehen – und nicht von lediglich durchschnittlichen oder gar theoretisch modellierten intermediären bzw. schimpansenartigen Merkmalen, wie es oft in der Paläoanthropologie praktiziert wird. Zahlreiche Beispiele aus der Fachliteratur zeigen, dass der Turkana Boy wahrscheinlich in Bezug auf Zahndurchbruch, Zahnbildung, Körperwachstum, Epiphysenschluss und Gehirnentwicklung im großen menschlichen Variationsbereich gelegen hat. Darstellungen einer intermediären Entwicklung sind hingegen spekulativ.

Als vollständigstes Skelett seiner Zeitepoche ist der ca. 1,5 MrJ (Millionen radiometrische Jahre) alte Turkana Boy bzw. Junge von Nariokotome (KNM-WT 15000) aus Kenia das

Hauptobjekt der Diskussionen um die Individualentwicklungsdauer bei *Homo erectus* (vgl. DEAN & SMITH 2009; RUFF & BURGESS 2015).

2. Methoden zur Bestimmung des Individualalters

GRAVES et al. (2010, Tab. 1) haben sich näher mit der Bestimmung des Alters und der Erwachsenengröße beim Turkana Boy beschäftigt und einen Überblick über die Ergebnisse bisheriger Studien aufgestellt. Tab. 1 zeigt, dass das geschätzte Todesalter des Turkana Boy zwischen ca. 8 und 15 Jahren erheblich variiert. Dies hängt unter anderem davon ab, welche Spezies man als Referenz verwendet (Schimpanse bzw. Mensch oder ein intermediäres Modell; vgl. RUFF & BURGESS 2015), und ob man Zahnalter oder Skelettalter untersucht. So schätzte Alan

WALKER (1996, 81) den Zahn- und Knochenzustand des Turkana Boy auf max. 11 Jahre und die Körpergröße auf ca. 15 Jahre.¹ Allein diese Diskrepanz mahnt zur Vorsicht bei der Festbeschreibung eines sehr konkreten Sterbealters für dieses Fossil.

Bei verschiedenen Messmethoden variiert das geschätzte Todesalter des Turkana Boy zwischen ca. 8 und 15 Jahren erheblich.

Tab. 1 Verschiedene rekonstruierte Alter für den Turkana Boy je nach Methode und Referenz. (Nach GRAVES et al. 2010, Tab. 1)

Autor/en	Methode	Referenzbeispiel	Geschätztes Alter in Jahren
1. Smith (1993)	Epiphysenfuge	Schimpanse	7,5–8,0
2. Smith (1993)	Durchbruch und Bildung der Zähne	Schimpanse	7,5–9,0
3. Dean & Smith (2009)	Mikroanatomie von Dentin und Zahnschmelz	Fossile Homininen [sowie Afrikanische Menschenaffen und moderne Menschen]	7,6–8,8 ²
4. Dean et al. (2001)	Zahnschmelz, Bildung der Perikymata (Wachstumslinien auf dem Zahnschmelz) ³	Großaffe und moderner Mensch	ca. 8,0
5. Smith (1993)	Bildung des Zahns	moderner Europäer	10,4–10,7
6. Smith (1993)	Zahndurchbruch und Zahnbildung	moderner Mensch	10,5–11,7
7. Smith (1993)	Epiphysenfuge, einzelne Elemente	moderner Mensch	11,0–15,0
8. Smith (1993)	Zahndurchbruch	moderner Afrikaner	11,1
9. Smith (1993)	Zahneruption, ohne Berücksichtigung der Eckzähne	moderner Afrikaner	12
10. Smith (1993)	Epiphysenfuge, Kombination von Minima und Maxima für alle Elemente	moderner Mensch	13,0–13,5
11. Tardieu (1998)	Morphologie des distalen (körperfernen) Oberschenkels	moderner Mensch	15

Im Grundtypmodell nach BRANDT (2017) wird *Homo erectus* als echter Mensch betrachtet. Aus dieser Perspektive würde man im Gegensatz zu den ersten zwei Altersrekonstruktionen (2. bis 3.) von Tab. 1 den heutigen Menschen und keine Großaffen oder großaffenähnliche Homininen⁴ als Referenz verwenden und damit wahrscheinlich auch zu anderen Altersschätzungen gelangen. Bis auf (3.) DEAN & SMITH (2009, s. u.) und (4.) DEAN et al. (2001, s. u.) ergeben die anderen sieben Altersmessungen (5. bis 11.), welche auf modernen Menschen als Referenz basieren, alle ein höheres Alter von ca. 11 bis 15 Jahren. Aus diesem Grund werden diese beiden Rekonstruktionen im vorliegen-

den Artikel einer genaueren Analyse unterzogen und weitere Hintergründe der verschiedenen Altersrekonstruktions-Modelle beim Turkana Boy diskutiert. Dabei ist besonders der Zahnzustand (Zahndurchbruch, Zahnwachstum und Zustand von Zahnkrone und -wurzel) sowie der Skelettzustand (Körpergröße und Knochenwachstum) von Bedeutung. Auch die Gehirnentwicklung wird diskutiert. Die erwartete Größe im Erwachsenenalter wird hingegen erst auf der Grundlage von rekonstruierter Körpergröße und hypothetischem Wachstumsmuster (ob Mensch, Schimpanse oder intermediär) modelliert und ist daher kein valides Kriterium der Altersbestimmung.

3. Die Bestimmung des Zahnalters

3.1 Zahnbildungsdauer nach DEAN et al. 2001

Eine häufig genutzte Möglichkeit zur Bestimmung des Lebensalters von fossilen und modernen Skelettfunden ist die Deutung des Zahnzustandes, bei dem man das Durchtrittsalter der Zähne untersucht. Allerdings ist diese Deutung mit Unsicherheiten behaftet (s. u.). Von den oben in Tab. 1 angeführten Studien ist die Studie von DEAN et al. (2001) für das Grundtypmodell die größte Herausforderung, da hier einerseits ein geringes Alter von „ca. 8,0“ Jahren für den bereits etwa 160 cm großen Turkana Boy angegeben wird. Ein so schnelles Körperwachstum würde eher dem Wachstum von Schimpansen als von modernen Menschen entsprechen. Und andererseits wird der moderne Mensch als Referenz verwendet, der mit *Homo erectus* gemeinsam zum Grundtyp echter Menschen gezählt wird. Daher sollen die Ergebnisse der Bestimmung des Zahnalters von DEAN et al. (2001) kurz vorgestellt werden.

DEAN und Kollegen (2001) kamen hinsichtlich der vorderen Zähne (Schneide- und Eckzähne) zu dem Ergebnis, dass sowohl der *Australopithecus* als auch der frühe *Homo* (inklusive *Homo erectus*) mit einem schnellen Zahnwachstum eher den Menschenaffen ähnelten als den modernen Menschen bzw. den Neandertalern.⁵ Um zu überprüfen, ob *Homo erectus* tatsächlich keine menschliche Zahnentwicklung aufweist, wurden die zugrundeliegenden Daten dieser Aussage von DEAN et al. (2001) einer genaueren Analyse unterzogen (Anhang Tab. 1–2, Abb. 1). Dabei stellte sich heraus, dass DEAN et al. (2001) nur mit Durchschnittswerten bei Zahnbildungsprozessen gerechnet haben. Außerdem haben die Autoren nicht differenziert,

welche Ablagerungsgeschwindigkeiten der Zahnwachstumslinien (Perikymata) bei welcher Spezies bzw. welchem Fossil im Durchschnitt angemessen wären – wie es DEAN & SMITH 2009 getan haben. Im Anhang (Tab. 1–2, Abb. 1) wurden die von DEAN & SMITH (2009) bevorzugten Rekonstruktionswerte verwendet und auch die heutige Vielfalt der Werte bei Menschen miteinbezogen. Dementsprechend fällt die Bildungsdauer der vorderen Zähne von *Homo erectus* in den ermittelten unteren Variationsbereich heutiger Menschen – außer dem 1. oberen Schneidezahn (vgl. Anhang Tab. 1–2, Abb. 1). Verwendet man allerdings die rekonstruierten Maximalwerte von *Homo erectus*, so fallen alle vorderen Zähne in den menschlichen

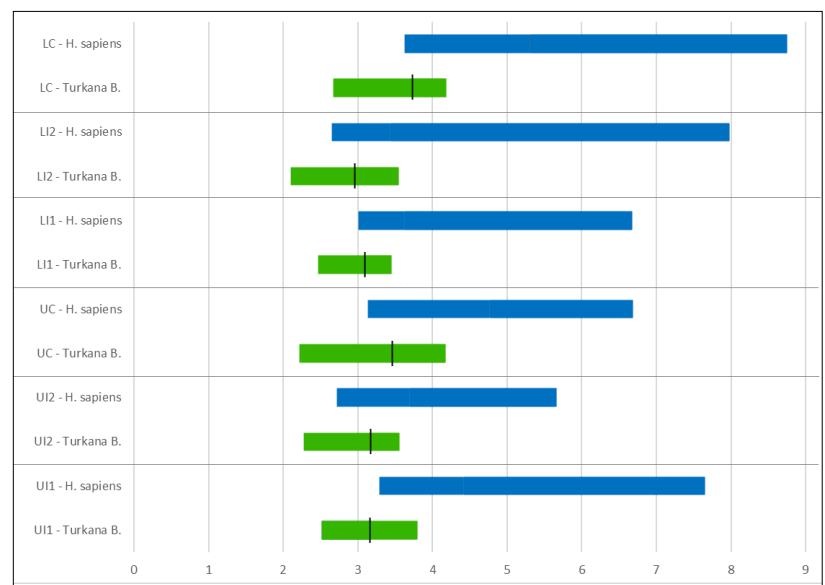


Abb. 2 Die rekonstruierte Spannweite der Analysen der Bildungsdauer der vorderen Zähne vom Turkana Boy (grün) im Vergleich mit der ermittelten Variationsbreite beim heutigen Menschen (blau) in Jahren (basierend auf den Daten von Anhang Tab. 1–2, Abb. 1). Die schwarzen Linien entsprechen den Ergebnissen, welche auf den von DEAN & SMITH (2009) bevorzugten Werten für den Turkana Boy beruhen. Es wird deutlich, dass die vorderen Zähne des Turkana Boy im unteren menschlichen Variationsbereich gelegen haben könnten.

Variationsbereich – wie auch die hinteren Zähne (s. u., vgl. DEAN & LIVERSIDGE 2015 sowie DEAN 2016). Auch drei weitere Zähne, die mit hoher Wahrscheinlichkeit *Homo erectus* zugeordnet werden können, weisen eine menschliche Bildungsdauer auf (KNM-ER 820, KNM-ER 808, Sangiran 4; s. Anhang Tab. 2, vgl. DEAN et al. 2001, Tab. 1; KAIFU et al. 2015).

3.2 Zahndurchbruch und Zahnentwicklung

Außerdem betont DEAN (2016), dass es „derzeit schwierig“ ist, „eindeutige Unterschiede im Zeitpunkt der Zahnentwicklung“ bei Menschenaffen, Homininen und Menschen festzustellen. Die Hinweise auf eine kürzere Individualentwicklung beim frühen *Homo* im Vergleich zum heutigen Menschen hält DEAN (2016) für nur eingeschränkt („limited“) aussagekräftig. Beim Turkana Boy sowie bei Sangiran S7–37 aus Java von *Homo erectus* und beim unsicher zuzuordnenden Fossil Stw 151¹¹ sehen DEAN & LIVERSIDGE (2015; vgl. DEAN 2016) frühe, aber menschliche Stadien der Zahnbildung bei den hinteren Zähnen, also den Vor-/Backenzähnen (P4 bis M2).

Der Verlauf der Zahndurchbrüche (M2, P4, C) beim Turkana Boy ist menschlich und findet Parallelen bei zehn- bis elfjährigen Jungen aus Boston (vgl. DEAN et al. 2001; DEAN & SMITH 2009). Bemerkenswert ist aber die Zurückhaltung, mit der DEAN et al. (2001, 630) – im Kontrast zu vielen Kollegen – die Daten interpretieren: „Unsere Daten erlauben es uns nicht, ein direktes Alter für den Durchbruch der Backenzähne M1 oder M2 oder ein Sterbealter für die

Exemplare von Nariokotome [Turkana Boy] oder Sangiran [*Homo erectus* aus Indonesien] zu rekonstruieren.“ Anschließend vermuten sie, dass das Zahnalter näher bei 8 als bei 12 Jahren lag – also zwischen 8,1 bis 9,9 Jahren (und nicht „ca. 8,0“ Jahre, wie in Tab. 1 angegeben).

DEAN et al. (2001) sind auch skeptisch bezüglich der Deutung des bei allen Homininen vorkommenden dicken Zahnschmelzes als abstammungsbedingtes Merkmal. Aufgrund verschiedener Bildungsgeschwindigkeiten des Zahnschmelzes bei den Homininen bewerten sie dieses gemeinsame Merkmal als nicht homolog (sondern als eine Parallelentwicklung).⁶ Damit entfällt das Merkmal „dicker Zahnschmelz“ als Argument für eine gemeinsame evolutionäre Abstammung von Australomorphen (*Australopithecus* und verwandte großaffenartige Arten) und Menschen.

Die Dicke des Zahnschmelzes ist kein Argument für eine gemeinsame evolutionäre Abstammung von Australomorphen und Menschen.

Eine solche Zurückhaltung bei der Interpretation des Alterszustandes ist durchaus angebracht. Die Schwierigkeiten bei der Deutung des Zahnalters zeigen sich nämlich deutlich in Tabelle 2 (s. u.) in Bezug auf die großen innerartlichen Unterschiede beim Zahndurchbruch von Schimpansen und Menschen. Diese Variabilität nimmt bei Schimpansen nicht nur beim Zahndurchbruch, sondern auch bei der Bildung von Zahnkrone und -wurzel mit dem Alter zu (vgl. SMITH et al. 2010).

Außerdem überlappen die Variationsbereiche der Zahndurchbruchsalter von Menschenkindern und Schimpansenjungen bei den Schneidezähnen massiv und bei den Backenzähnen immer noch leicht (vgl. Tab. 2), was eine Unterscheidung großaffenähnlicher und menschenähnlicher Entwicklungsmuster generell erschwert. SMITH et al. (2010) beschreiben die Zahneruption bei Schimpansen allgemein als einen „dynamischen Prozess“. Sie kritisieren außerdem das vereinfachte, aber verbreitete „Paradigma“ in der Paläoanthropologie, dass der M1-Durchbruch bei Schimpansen mit 4,1 Jahren geschehe, was aber der tatsächlichen Vielfalt nicht gerecht wird (vgl. Tab. 2, Zeile 4).⁷

Der Turkana Boy besaß bereits einen Durchbruch der 1. und 2. Backenzähne (M1–M2) und aller anderen Zähne außer den Weisheitszähnen (M3) und den oberen Eckzähnen (C) (vgl. DEAN & SMITH 2009; GRAVES et al. 2010; RUFF & BURGESS 2015; DEAN 2016; ROZZI 2016).⁹ Dies legt nach eigenen Analysen bei heutigen Menschen ein Altersspektrum von ca. 7,3 bis 12,9 Jahren

Abb. 3 Der Schädel des Turkana Boy mit Zähnen. Die 1. und 2. Backenzähne sind schon durchgebrochen. Die oberen Eckzähne sind noch Milchzähne. (Wikimedia: BAHN, Paul G, CCo)



Zähne	Kinder in Dänemark (Ekstrand et al. 2003)	Kinder der Baka-Pygmäen (Rozzi 2016, Suppl. Tab. 1)	Kinder im Iran (Chaitanya 2018, Tab. 5)	Schimpansenjunge: Zusammenfassung von 4 Studien (Smith et al. 2010, Tab. 5; aber unter Ausschluss von Zihlman et al. 2004 wegen unsicherer Altersschätzungen)	Schimpansenjunge: Zusammenfassung von 4 Studien (Machanda et al. 2015, Tab. 4)
1. Schneidezahn (I1) unten		4,00–7,15	5,13–8,26	4,50–6,75	4,8–7,0
2. Schneidezahn (I2) unten		3,97–9,27	5,70–9,38	4,67–8,25	4,8–7,5
1. Backenzahn (M1) unten	5,17–7,83	3,72–6,63	5,13–7,74	2,26–4,38	2,1–4,0 (vgl. auch Dean 2016: bis 4,6 Jahre bei Gorilla)
2. Backenzahn (M2) unten	8,92–14,33	7,25–13,33	9,83–13,40	5,23–7,83	4,8–7,3
Eckzahn (C) unten		5,99–12,47	7,03–12,46		6,5–10,9
Eckzahn (C) oben (bei Turkana Boy noch nicht durchgebrochen)		6,27–12,53	11,64–12,87		6,5–10,6

Tab. 2 Variationsbereich der Durchbruchsequenzen von Zähnen bei heutigen Menschen und Schimpansen in Jahren.⁸

nahe (vgl. Tab. 2, Zeile 4+6: fett markiert). DEAN (2016) weist aber darauf hin, dass ein tatsächliches Jahr nicht unbedingt mit einem Jahr „Reifungszeit“ des Körpers gleichzusetzen ist, weil bei Anwendung verschiedener Kriterien unterschiedliche Ergebnisse für die Geschwindigkeit der Individualentwicklung selbst bei demselben Individuum resultieren können. Dies gilt sogar bei Zahndurchbruch und Zahnbildung (vgl. DEAN & LIVERSIDGE 2015; RUFF & BURGESS 2015); wobei sich der Zahndurchbruch laut DEAN (2016) für eine Unterscheidung zwischen affenähnlicher und menschenähnlicher Entwicklung besser eignet.¹⁰

Der Zahndurchbruch legt ein Alter von 7,3 bis 12,9 Jahren beim Turkana Boy nahe.

Insgesamt beschreiben DEAN & SMITH (2009) die Wurzeln der meisten Zähne des Turkana Boy (2. Schneidezahn oben und unten, Eckzahn, P3, P4 und M2) als nicht fertig ausgeformt. Daraus ein konkretes Alter abzuleiten, ist aber schwierig, da auch beim modernen Menschen die Dauer der Fertigstellung von Zahnkrone und -wurzel teilweise erheblich variiert, wie Tab. 3 zeigt (vgl. SCHAEFER et al. 2009, 82f). Der unfertige Zustand der Eckzähne weist nach heutigen Standards auf ein Alter von max. 12,9 Jahren hin.

DEAN & SMITH (2009) diskutieren den Status der Zahnentwicklung des Turkana Boy insgesamt (ohne Mikroanalysen) und kommen im *Durchschnitt* auf 10,6 Jahre, während LIVERSIDGE

et al. (2006) im weltweiten *Durchschnitt* 10,24 Jahre angeben und LIVERSIDGE (pers. comm., 2008) für südafrikanische Kinder im *Durchschnitt* 10,1 Jahre (nach DEAN & SMITH 2009). Allerdings variieren die tatsächliche Altersspanne heutiger Menschen bei den einzelnen Zahnstadien je Zahn um 3 bis 6 Jahre (vgl. Anhang Tab. 3), so dass unklar ist, wo genau das Zahnentwicklungsalter des Turkana Boy einzuordnen ist. Die eigene Analyse gemäß Anhang Tab. 3 ergab, dass je nach Autoren mit einem Zahnalter von minimal 7,5–9,4 Jahren bis maximal 11,8–14,4 Jahren hinsichtlich des erhaltenen Kronen- und Wurzelzustands der Zähne des Turkana Boy zu rechnen ist.

Der Zustand der Zahnkrone und -wurzel legt eine Altersspanne von minimal 7,5–9,4 bis maximal 11,8–14,4 Jahre beim Turkana Boy nahe.

Nicht nur beim Menschen, auch beim Schimpansen treten beim Alter des Zahndurchbruchs und der Bildungsdauer von Zahnkrone und -wurzel deutliche Unterschiede zwischen einzelnen Individuen auf (vgl. SMITH et al. 2010), was die Unsicherheit bei der Rekonstruktion des Lebensalters bei Fossilien erschwert. Dies kann man mittels histologischer Untersuchungen (d. h. Gewebestrukturanalysen) aufzeigen, auch wenn in der Regel nur sehr wenig Vergleichsmaterial bei Menschenaffen zur Verfügung steht (vgl. SMITH et al. 2010). Beispielsweise variiert die Bildungs-

Zähne	Alter mit fertiger Zahnkrone	Alter mit fertiger Zahnwurzel
Eckzähne:	3,2 bis 5,1 Jahre	8,3 bis 12,6 Jahre
P3 (PM1) unten:	4,1 bis 6,5 Jahre	8,4 bis 12,9 Jahre
P4 (PM2) unten:	5,1 bis 7,7 Jahre	9,4 bis 14,3 Jahre
M1 unten:	1,7 bis 2,9 Jahre	5,0 bis 7,8 Jahre
M2 unten:	5,1 bis 7,9 Jahre	9,5 bis 14,7 Jahre
M3 unten:	9,7 bis 14,7 Jahre	13,6 bis 20,4 Jahre

Tab. 3 Variation der Bildungsdauer der fertigen Zahnkrone und -wurzellänge bei 95 Prozent heute lebender Jungen aus Boston (geschätzt nach SCHAEFER et al. 2009, 82f).

zeit der Zahnkrone bei den unteren Backenzähnen M1 und M2 um 0,3 bis 1,0 Jahre (pro Zahn und Messrichtung), obwohl jeweils nur vier bis sieben Schimpansen untersucht wurden (vgl. ebd. Fig. 2). Auch die Bestimmung der Reife-Skala der Zähne („maturity scale“ nach KUYKENDALL 1996) ergab bei zwei von vier untersuchten Schimpansen ein Ergebnis, das mindestens 20 Prozent – 0,6 bzw. 1,1 Jahre – daneben lag (SMITH et al. 2010, Tab. 4).

3.3 Mikroanalysen nach DEAN & SMITH 2009

Aufgrund von Mikroanalysen der Perikymata (Zahnwachstumslinien) berechneten DEAN & SMITH (2009; vgl. DEAN 2016) das Sterbealter des Turkana Boy auf 7,6 bis 8,8 Jahre bei einer Periodizität der Bildung einer Wachstumslinie von 8 bis 10 Tagen (wobei DEAN & SMITH 2009 einen höheren Wert als 8 für realistischer halten). In Anhang Tab. 4 wird detailliert begründet, warum unter Voraussetzung menschlicher

Wachstumsmuster eher ein Alter von ca. 7,3 bis 10,1 Jahren für den Turkana Boy angemessen erscheint und wo die teils schwerwiegenden methodischen Mängel in dieser Altersrekonstruktion von DEAN & SMITH (2009) vorliegen.

Unter Berücksichtigung der heutigen menschlichen Variabilität sprechen die Zahnwachstumslinien beim Turkana Boy für ein Alter von ca. 7 bis 10 Jahren.

Bei heutigen Menschen variiert die Dauer der Ablagerung einer Perikymata-Zahnlinie zwischen ca. 6 und 12,3 Tagen – je nach Population (vgl. TAN et al. 2017, Suppl. Tab. 1; DEAN & FERRELL 2006, Fig. 1; SMITH et al. 2007, Tab. 1; DEAN & SMITH 2009).¹² DEAN & SMITH geben (2009) bei der Spanne von 6 bis 12 Tagen Ablagerungszeit 7 bis 9 Tage als die üblichste Dauer an. Bei *Australopithecus*-Zähnen werden laut COFRAN (2019) Ablagerungsdauern von 6 bis 11 Tagen in der Fachliteratur angeführt. DEAN &

Tab. 4 Die Perikymata-Periodizität, also die Dauer in Tagen, in der sich eine Zahnlinie ablagert, unterscheidet sich bei verschiedenen lebenden und fossilen Menschen und Affen. (Nach Hu et al. 2011, Tab. 2, sofern nicht anders angegeben)

Art	Untersuchte Individuen (n)	Perikymata-Periodizität in Tagen
<i>Afropithecus turkanensis</i> (fossil)	2	7–8
<i>Australopithecus afarensis</i> (fossil)	3	7
<i>Australopithecus africanus</i> (fossil)	8	6–8
<i>Dryopithecus laietanus</i> (fossil)	3	6–7
<i>Gigantopithecus blacki</i> (fossil)	1	11
<i>Gorilla gorilla</i> (Westl. Gorilla) nach Mahoney et al. (2016, Tab. 2):	36 6	7–10 7–8
<i>Homo neanderthalensis</i> (fossil, Neandertaler)	1	7
<i>Homo sapiens</i> (moderner Mensch)	678	6–12
<i>Hylobates lar</i> (Weißhandgibbon)	3	4
Lemuren aus Madagaskar	2	3
<i>Lufengpithecus huiensis</i> (fossil)	2; 1	7; 1
<i>Lufengpithecus lufengensis</i> (fossil)	2	9
<i>Macaca nemestrina</i> (Südl. Schweinsaffe)	98	8
<i>Ouranopithecus macedoniensis</i> (fossil)	1	8
<i>Pan paniscus</i> (Zwergschimpanse) nach Mahoney et al. (2016, Tab. 2):	2 1	6–7 Milch-Backenzahn: 5
<i>Pan troglodytes</i> (Gemeiner Schimpanse) nach Smith et al. (2007, Tab. 1): nach Mahoney et al. (2016, Tab. 2):	135; 4 61 8	6–7; 7–8 6–7 5–8
<i>Papio hamadryas</i> (Mantelpavian)	1	7
<i>Paranthropus boisei</i> (fossil)	1	7
<i>Paranthropus robustus</i> (fossil)	7; 1	6–8; 9
<i>Pongo pygmaeus</i> (Borneo-Orang-Utan) nach Mahoney et al. (2016, Tab. 2):	24 4	8–11 10+12
<i>Pongo sp.</i> (fossil, Orang-Utan)	15	9
<i>Proconsul heseloni</i> (fossil)	2	5
<i>Proconsul nyanzae</i> (fossil)	2	6
<i>Semnopithecus entellus priam</i> (Südl. Hanuman-Langur)	1	5
<i>Sivapithecus indicus</i> (fossil)	1	8
<i>Sivapithecus parvada</i> (fossil)	1	9
<i>Symphalangus syndactylus</i> (Siamang)	3	5

SMITH (2009) geben 7 bis 9 für Australopithecinen an, wovon aber die Mehrheit (59 % bei 29 Funden) eine 7-Tages-Periodizität gehabt haben soll. HU et al. (2011, Tab. 2) geben für alle Australopithecinen (inkl. Paranthropus) 6 bis 9 Tage an. Für die heutigen großen Menschenaffen nennen sie 6 bis 11 Tage – allerdings nur 6 bis 8 Tage bei heutigen Schimpansen. Diese Befunde, dass Perikymata-Bildungsdauern extrem schwanken, sollten generell bei paläoanthropologischen Altersrekonstruktionen stärker berücksichtigt werden (vgl. Anhang).

3.4 Zwischenfazit zum Zahnalter

Der rekonstruierte Bereich der Bildungsdauer der vorderen und hinteren Zähne vom Turkana Boy überschneidet sich mit dem unteren Variationsbereich moderner Menschen. Damit hat *Homo erectus* frühe, aber menschliche Stadien der Zahnbildung. Der Verlauf der Zahndurchbrüche ist menschlich. Die Zahndurchbrüche an sich ergeben aufgrund ihrer großen Variabilität eine Altersspanne von ca. 7 bis 13 Jahren; Zahnkrone und -wurzel sprechen für ca. 8 bis

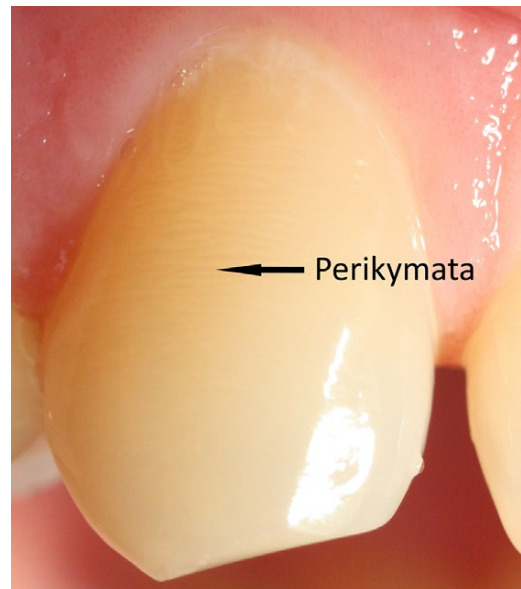


Abb. 4 Die Bildung von Perikymata, also Zahnwachstumslinien, benötigt jeweils zwischen 6 und 12 Tagen bei heutigen Menschen (s. Abschnitt 5). Perikymata werden zur Altersbestimmung eingesetzt. (Nach Wikimedia: Politiker, CC BY-SA 3.0)

14 Jahre. Der Gebisszustand wird von einigen Wissenschaftlern bevorzugt mit ca. 10 bis 11 Jahren angegeben. Bisherige Mikroanalysen des Zahnwachstums wurden durch eigene Analysen mit einem Alter von ca. 7 bis 10 Jahren rekonstruiert.

4. Altersbestimmung und Körperwachstum

Wie bereits in der Untersuchung des Zahnalters dargestellt wurde, kann die Frage nach der Dauer der Individualentwicklung von *Homo erectus* aufgrund vieler unsicherer Faktoren letztlich nicht eindeutig beantwortet werden. Dies gilt auch für das Wachstum des gesamten Körpers des Turkana Boy. Diese großen Unsicherheiten deuten sich beispielsweise in den folgenden widersprüchlichen Aussagen an, die bei ANTÓN & SNODGRASS (2012, S481) sogar im gleichen Absatz vorkommen. Zuerst schreiben sie: „Das Muster der Skelett- und Zahnentwicklung bei Nariokotome [des Turkana Boy] liegt jedoch nicht weit außerhalb des Bereichs ‚großer‘ moderner Menschenkinder [...]“. Dann schlussfolgern sie aber doch, dass das Wachstumsmuster des Turkana Boy sich „nur geringfügig“ („modestly“) von dem des *Australopithecus*, aber „deutlich“ („distinct“) vom heutigen Menschen und dem Neandertaler unterscheidet.¹³ Trotz dieses nicht aufgelösten Widerspruchs treten ANTÓN & SNODGRASS (2012) dann schließlich doch dafür ein, dass *Homo erectus* „ein ähnliches Maß an Entwicklungsplastizität besaß wie der moderne Mensch“.¹⁴

Die Unsicherheit hinsichtlich der rekonstruierten Individualentwicklung von *Homo erectus* wird noch durch die Beobachtung verstärkt,

dass viele Studien bei heutigen Menschen sehr variable Zeitpunkte der Individualentwicklung nachweisen. Ein Beispiel für die enorme Variabilität in der Individualentwicklung, für das einerseits viele Daten vorliegen und das andererseits aufgrund des Wachstumsschubs in der Pubertät direkt mit dem Körperwachstum zusammenhängt (vgl. ROGOL et al. 2002), ist der Eintritt der Geschlechtsreife: Je nach Herkunftsland, sozialem Status und Jahr der Untersuchung schwankt das durchschnittliche Alter der Geschlechtsreife (vgl. JI 2001; DEAN & SMITH 2009; BRANDT 2020, 206; SONG et al. 2016)¹⁵. Insgesamt lässt sich auch ein deutlicher Trend zu einer immer früheren Geschlechtsreife bei Menschen in den letzten Jahrzehnten erkennen. Nach ANTÓN & SNODGRASS (2012) können bei Menschen verbesserte Lebensumstände eine größere Körpergröße und frühere Geschlechtsreife zur Folge haben – dies ist bei Schimpansen prinzipiell ähnlich. Stattdessen können schlechte Lebensumstände einerseits zu einer früheren Geschlechtsreife führen, die dann aber gekoppelt mit einer kleineren Körpergröße ist und andererseits die Schädel- sowie Gehirngröße beeinflussen. Vielleicht findet sich hier ein Erklärungsansatz für *Homo-erectus*-Funde mit kleinen Schädeln (vgl. SCHOLL 2022).

Tab. 5 Die Größenabschätzungen der Größe des Turkana Boy zum Sterbezeitpunkt nach GRAVES et al. (2010, Tab. 2). (Eigene Darstellung)

Durchschnitt (cm)	Bereich (cm)	Autor/en
144	141,0–147,0	Ohman et al. (2002)
157	155,0–160,0	Feldesman and Lundy (1988)
157	150,5–169,1	Ruff (2007)
157,4	nicht angegeben	Feldesman (1992)
160	156,0–163,0	Ruff and Walker (1993)
161,2	151,1–169,3	Hens et al. (2000)
161,8	158,0–164,0	Feldesman et al. (1990)
162	nicht angegeben	McHenry (1991)
164	160,0–168,0	Brown et al. (1985)
165,8	nicht angegeben	Feldesman et al. (1990)

Auch bei heutigen Frauen schwankt der durchschnittliche Beginn der Geschlechtsreife je nach Population und sozioökonomischen Umständen zwischen 12 und 15,5 Jahren (PARENT et al. 2003, Fig. 3+4). In den USA beispielsweise gibt es eine weite Spanne von ca. 10 bis 16 Jahren (GRABER 2021).

Bei weiblichen Schimpansen ist die sexuelle Reife mit 8,5 bis 13,9 Jahren ebenfalls sehr variabel und schwankt selbst im Durchschnitt je nach untersuchter Population und Studie zwischen 8,5 bis 11,5 Jahren (WALKER et al. 2018, Tab. 1+2).

Bei fünf untersuchten männlichen Schimpansen trat nach MARSON et al. (1991) die Geschlechtsreife schon ungefähr zwischen 6 und 9 Jahren ein. HAMADA et al. (1996) geben hingegen eine Dauer von 15 Jahren bis zum vollständigen Ausgewachsensein in Gefangenschaft an. SMITH et al. (2010) weisen auch darauf hin, dass bei Schimpansen das Skelettwachstum sowie die Geschlechtsreife und – am geringsten – die Zahnreife deutlich durch die Lebensumstände beeinflusst sind.

In umfangreichen Studien mit zehntausenden Jungen in China schwankt der durchschnittliche Eintritt der Geschlechtsreife je nach Ethnie und Lebensumständen zwischen 12 und 15,9 Jahren – mit einem massiven Rückgang von bis zu 3,5 Jahren von 1995 bis 2010 (JI 2001; SONG et al. 2016). LARON (2010) untersuchte ebenfalls die Geschlechtsreife von Männern und kam zum Ergebnis, dass diese zwischen 12 und 16,5 Jahren eintrat. Interessanterweise aber lag das geschätzte Alter des Knochenwachstums bei den untersuchten Jungen nur bei 11,5 bis 15,75 Jahren und war damit

durchschnittlich 9 Monate geringer als ihr tatsächliches Alter (ebd.). Bei 36 Jungen mit verzögerter Pubertät trat die Geschlechtsreife erst mit 14,75 bis 19 Jahren ein, obwohl sie ein geschätztes Knochenalter von nur 11,5 bis 15,75 Jahren aufwiesen (ebd.). Ihr „Skelettalter“ lag damit im Durchschnitt 2,85 Jahre niedriger als ihr tatsächliches Alter.

Bei Jungen mit verzögerter Pubertät liegt das „Skelettalter“ im Durchschnitt 2,85 Jahre niedriger als ihr tatsächliches Alter.

Insgesamt sind zwei bis drei Jahre Unterschied in der Individualentwicklung der Zähne und des Skeletts bei heutigen Populationen nicht ungewöhnlich (GRAVES et al. 2010; vgl. DEAN & SMITH 2009). Dies gilt insbesondere bei Menschen mit Hormonstörungen, die häufig eine enorme Diskrepanz hinsichtlich Zahn- und Skelettalter aufweisen¹⁶; und auch beim Turkana Boy wurden schon verschiedene Erkrankungen diskutiert (z. B. Spaltwirbel – Spina bifida; vgl. GRAVES et al. 2010 und RUFF & BURGESS 2015). Dennoch ist es nach GRAVES et al. (2010) bei modernen Menschen „unüblich“, dass das Skelettalter das Zahnalter übersteigt. DEAN & SMITH (2009) berichten hingegen von der bisher umfassendsten Untersuchung von LEWIS (1991) aus Ohio: Ein Drittel der 320 Kinder wiesen einen Unterschied zwischen Skelettalter und Zahnalter von mehr als 1 Jahr auf, 5 Prozent von mehr als 2 Jahren und 1 Prozent von mehr als 3 Jahren. Obwohl es doppelt so häufig war, dass das Zahnalter älter als das

Tab. 6 Körpergröße heutiger Jungen in Deutschland bzw. Mosambik nach Alter; ausgenommen sind die ca. jeweils kleinsten und größten drei Prozent der Jungen (eigene Darstellung nach: ROBERT KOCH-Institut 2011, Anhang, 18; FANTA 2018, 19). Die Angaben der orange hinterlegten Felder sind die Größenangaben für den Turkana Boy zum Sterbezeitpunkt von nur einer der zehn Studien; die Angaben bei den grün hinterlegten Feldern werden durch mehrere Studien gedeckt (vgl. GRAVES et al. 2010, Tab. 2).

Alter (Jahre)	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Minimum (cm) in Dtl.	121	125,5	130	134	138	143,5	151	158	163	165	166
Median (cm) in Dtl.	131	136,5	141,5	146,5	152,5	159,5	167	173	176,5	178,5	179
Maximum (cm) in Dtl.	141,5	148	154	160	167	175	182,5	187,5	189,5	190,5	191
Minimum (cm) in Mosambik	116	120,5	125	129,7	134,9	141,2	147,8	153,4	157,4	159,9	161,2
Maximum (cm) in Mosambik	138,6	144,5	150,5	156,6	163,3	170,9	178,6	184,6	188,4	190,4	191,1

Alter des Skeletts war, kam es bei 10 Prozent aller Kinder auch vor, dass das Zahnalter jünger als das Skeletalalter war – was dementsprechend gar nicht so „unüblich“ ist wie von GRAVES et al. 2010 suggeriert (vgl. DEAN & SMITH 2009, Tab. 10.3).

Noch schwieriger wird es, wenn man die Größe des Turkana Boy im Erwachsenenalter abschätzen will, obwohl man nicht einmal dessen Sterbealter oder Erwachsenenalter sicher rekonstruieren kann. GRAVES et al. (2010, Tab. 2) listen zehn Rekonstruktionsversuche von 1988 bis 2007 auf, von denen neun Rekonstruktionen die Größe des Turkana Boy zum Todeszeitpunkt auf 157 bis 165,8 cm und eine Rekonstruktion auf 144 cm (häufig mit ca. $\pm 2\text{--}4$ cm) abschätzten.

Betrachtet man aber das Wachstum heutiger Jungen ohne Extremfälle in Deutschland, das durch vergleichbar gute Ernährungs- und Gesundheitssituation gekennzeichnet ist¹⁷, bzw. mit dem ebenfalls afrikanischen Land Mosambik¹⁸ (s. Tab. 5), wird deutlich, dass der Turkana Boy von der geschätzten Körpergröße her 10 bis 18 Jahre alt gewesen sein könnte – und unter Berücksichtigung der kleinsten Größenangaben sogar noch etwas jünger. Damit lässt sich aus der obigen Tab. 1 mit Altersabschätzungen zwischen ca. 8 bis 15 Jahren nicht klar ableiten, dass der Turkana Boy von der Körpergröße her kein menschliches Wachstum besaß.¹⁹

Im Vergleich mit heutigen Jungen könnte der Turkana Boy von der Körpergröße her 10 bis 18 Jahre alt gewesen sein.

GRAVES et al. (2010) errechneten basierend auf den Größenrekonstruktionen mit verschiedenen Wachstumskurven eine „wahrscheinliche“ Größe des Turkana Boy im Erwachsenenalter von 163 cm (bei Ergebnissen zwischen 144,0 und 225,5 cm). Dies ist jedoch aus zwei Gründen äußerst problematisch.

Erstens basiert diese Schätzung auf den Mittelwerten eines rein theoretischen, evolutionär

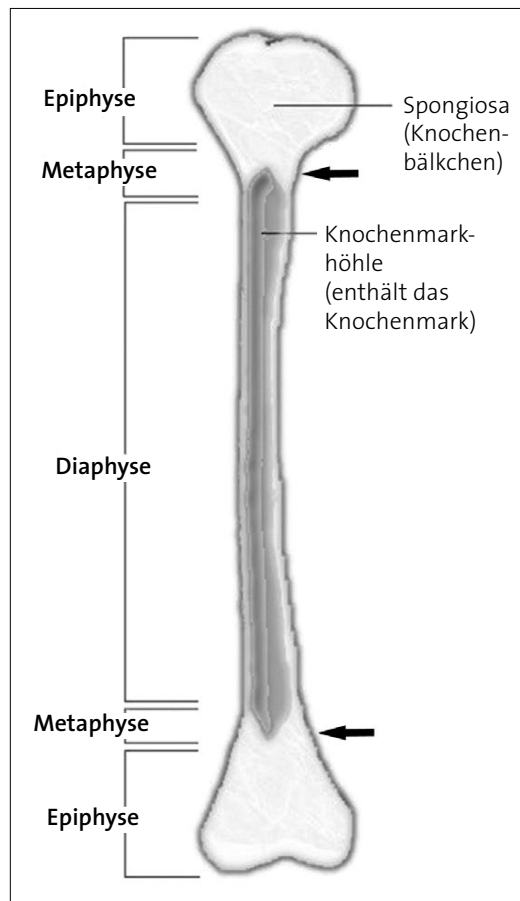


Abb. 5 Die Epiphysenfuge (schwarzer Pfeil) zwischen Epiphyse und Metaphyse ist der Bereich der Knochen, an dem so lange das Längenwachstum stattfinden kann, bis diese ganz geschlossen sind. Hier ist ein Oberarmknochen schematisch dargestellt. (Nach: Wikimedia: Chriudel, CC BY-SA 3.0).

postulierten intermediären Wachstums – die zu erwartende Körpergröße ist somit kein valides bzw. unabhängiges Kriterium zur Altersbestimmung. Bei der Annahme eines menschlichen Wachstums – bei Sterbealter von 11 bis 12 Jahren und mittlerer Größenabschätzung von 160 cm – kommen GRAVES et al. (2010) stattdessen auf eine Erwachsenengröße des Turkana Boy von ca. 185 cm (± 5 cm). Auch BRANDT hält (2020, 208f) mit RUFF & BURGESS (2015) ca. 180 cm beim erwachsenen Turkana Boy für am wahrscheinlichsten.²⁰ Letztere rekonstruierten den erwachsenen Zustand des Turkana Boy mit Wachstumsverläufen sowohl von heutigen Menschen als auch von Afrikanischen Menschenaffen mit ca. 180 cm Größe und ca. 80 kg Gewicht.

Zweitens schwankt die Erwachsenengröße bei Menschen in verschiedenen Zeitepochen

Tab. 7 Vollständiges Schließen einiger Epiphysen von Menschen und Schimpansen im Vergleich (gerundet nach GRAVES et al. 2010, Fig. 3)

Geschlossene Epiphyse	Schimpansen	Menschen
Epiphyse des körperfernen Oberarmknochens	ca. 9 bis 14 Jahre	ca. 11 bis 15 Jahre; Schaefer et al. (2009, 182f): 14/15 bis 18 Jahre bei Jungen und 11 bis 15 Jahren bei Mädchen
Epiphyse des körperfernen Oberschenkelknochens	ca. 13 bis 17 Jahre	ca. 15 bis 19 Jahre; Schaefer et al. (2009, 276): 16 bis 20 Jahre bei Jungen und 14 bis 19 Jahren bei Mädchen
Epiphysen des Beckens (Sitz-, Darm- und Schambein an der Hüftpfanne)	ca. 10,5 bis 13,5 Jahre	ca. 13 bis 17 Jahre Schaefer et al. (2009, 253): 14 bis 18 Jahre bei Jungen und 11 bis 16 Jahren bei Mädchen

und Populationen massiv, so dass es unklar ist, welche menschliche Wachstumskurve man beim ausgestorbenen *Homo erectus* aus Afrika überhaupt zugrunde legen sollte. Die Größe fossiler Menschen änderte sich deutlich in unterschiedlichen Zeitepochen (vgl. BRANDT 2020, 206–212). So waren die bekannten *Homo erectus*-Fossilien mit verschiedenen Größenabschätzungen von ca. 150 bis 187 cm bei einem Durchschnitt von 170 cm um ganze 5 bis 10 cm größer als der heutige Weltbevölkerungsdurchschnitt (BRANDT, ebd.). Aber auch die *Durchschnittsgrößen* erwachsener Männer nach Ländern bzw. Populationen schwanken heute bis zu 20 bzw. 30 cm (vgl. ROZZI et al. 2015, Suppl. Tab. 2; BRANDT 2020, 206f; RODRIGUEZ-MARTINEZ et al. 2020). In 34 Jahren, was nicht einmal zwei Generationen entspricht, hatten sich Populationsdurchschnitte sogar um bis zu 9 Zentimeter verändert (vgl. RODRIGUEZ-MARTINEZ et al. 2020). Diese Vielfalt an unterschiedlichen menschlichen Wachstumskurven führt dazu, dass beispielsweise Jungen der Solomon Islands durchschnittlich 6 Jahre länger brauchen, um die Körpergröße von 13-jährigen Jungen aus den Niederlanden zu erreichen (ebd. Fig. 2).

Auch beim Epiphysenwachstum, also dem Zuwachsen der Wachstumsfugen in der Nähe der Knochenenden, gibt es sowohl große individuelle Unterschiede innerhalb von Schimpansen und modernen Menschen als auch große Überlappungsbereiche beider Arten (s. Tab. 7; vgl. DEAN 2016). Dies erschwert die Altersbestimmung anhand der Epiphysen beim Turkana Boy. Mit nur teilweise geschlossener Epiphyse des körperfernen Oberarmknochens und der Beckenknochen wäre er daher nach

DEAN (2016) höchstens 11 bis 14 Jahre alt gewesen. Allerdings mahnen RUFF & BURGESS (2015, 75) bei der Altersbestimmung mithilfe dieser Epiphyse beim Turkana Boy zur Vorsicht, da der körperferne Oberarmknochen beschädigt vorliegt („cracking and crushing“) und daher die Verhältnisse der Form beim körperfernen Oberarmknochen keine zuverlässige Basis für die Altersbestimmung („unreliable“) sind.²¹ Zudem zeigt Tab. 7 in der Literatur zum Teil erhebliche Diskrepanzen beim heutigen Epiphysenwachstum, die vor zu konkreten Altersabschätzungen warnen. Davon abgesehen deuten die Epiphysen des Turkana Boy im Allgemeinen darauf hin, dass sein „Wachstum zum Zeitpunkt seines Todes noch lange nicht abgeschlossen war“ (RUFF & BURGESS 2015, 76).²²

Fasst man diese Befunde zusammen, besteht große Unsicherheit bei der Rekonstruktion des Skelettalters. Dieses kann auch bei heutigen Menschen um Jahre vom Zahnalter abweichen – insbesondere bei Entwicklungsverzögerungen. Auch Geschlechtsreife und Körperwachstum sind je nach Population und Umweltbedingungen extrem variabel. Mit ca. 160 cm Größe zum Todeszeitpunkt wäre unter heutigen Verhältnissen ein Alter des Turkana Boy von 10 bis 18 Jahren denkbar. Die noch nicht geschlossenen Epiphysen sprechen für maximal 11 bis 14 Jahre.

Aufgrund der teilweise geschlossenen Epiphysen könnte der Turkana Boy nach DEAN (2016) höchstens 11 bis 14 Jahre alt gewesen.

5. Ein Überblick über die Individualentwicklung von *Australopithecus* im Kontrast zu *Homo erectus*

COFRAN (2019) beschäftigte sich mit der Individualentwicklung von *Australopithecus*, mit dem Schwerpunkt des Gehirnwachstums nach der Geburt.

Er hält fest, dass das Gehirn neugeborener Menschen (ca. 235 bis 550 cm³ im 95%igen Vertrauensintervall; ebd., Fig. 2) im Durchschnitt fast doppelt so groß ist wie bei neugeborenen Gorillas und dreimal so groß wie bei neugeborenen Schimpansen (ca. 105 bis 175 cm³). COFRAN (2019) fasst die Erkenntnisse bisheriger Studien so zusammen, dass die Kinder und Jugendlichen der *Australopithecinen* proportional

die gleichen Gehirngrößen hatten wie heutige Afrikanische Menschenaffen – und eben nicht wie Menschen.

Insgesamt betonen SMITH et al. (2010), DEAN (2016) wie auch COFRAN (2019) das Fehlen von Vergleichsdaten bei Fossilien und auch bei heutigen Menschenaffen, was die Rekonstruktion der Individualentwicklung erschwert. Daher schreibt COFRAN (2019) auch in Bezug auf konkrete vorherige Schätzungen über das Sterbealter von *Australopithecus*-Individuen aus der Fachliteratur: „[...] es gibt bei all diesen Parametern eine nicht unerhebliche Unsicherheit.“



So unterscheiden sich auch die Schätzungen der Dauer der Bildung der periodischen Zahnlinien („striae“ bzw. Perikymata, vgl. Abschnitt 3).

COFRAN (2019, Tab. 2) geht bei seinen Alterseinschätzungen von *Australopithecus* sowohl von heutigen Minimal- als auch Maximal-Vergleichswerten bei Geschwindigkeiten in der Zahnbildung und der Gehirnentwicklung in der Fachliteratur aus: Er gibt für den Bereich des ermittelten Zahnalters von *Australopithecus africanus* für Taung 3,02 bis 4,40 Jahre und für Stw 402 2,35 bis 3,13 Jahre an. Für die beiden Fossilfunde von *Australopithecus afarensis* geht er für A.L.333-105 von einem Alter von 1,25 bis 4,38 Jahren und bei DIK1-1 von 1,21 bis 3,76 Jahren aus (Abb. 6). Diese Beispiele zeigen deutlich einen für diesen Artikel relevanten Unsicherheitsbereich bei der Ermittlung des Sterbealters mithilfe von Perikymata bei Homininen.

Im Wissen um die Unsicherheit des ermittelten Zahnalters sowie des ermittelten Hirnvolumens schätzte COFRAN (2019) das Gehirnwachstum von *Australopithecus africanus* und *afarensis* ab. Er kommt zu dem Ergebnis, dass die errechneten durchschnittlichen jährlichen Gehirnwachstumsraten von *Australopithecus africanus* (Taung) „statistisch nicht unterscheidbar“ von Schimpansen sind, während die von *Australopithecus afarensis* (A.L.333-105 und DIK1-1) sogar noch unter den geringen Gehirnwachstumsraten der Afrikanischen Menschenaffen liegen. Dies gilt auch für die proportionale Größenänderung des Gehirns.²³

Australopithecus besaß ein nicht-menschliches Gehirnwachstum ähnlich dem der Afrikanischen Menschenaffen.

COFRAN (2019) leitet aus seinen Ergebnissen ein nichtmenschliches Gehirnwachstum bei *Australopithecus* ab. Er vermutet außerdem,

dass Australopithecinen aufgrund ihrer hauptsächlich blattreichen Ernährungsweise, die anhand von Isotopen- und Mikro-Zahnanalysen rekonstruiert wurde (vgl. BRANDT 2017, 181–188), gar nicht die notwendige Energie zu einem schnelleren Gehirnwachstum hätten aufbringen können.

Bezüglich *Homo erectus* weist COFRAN (2019, 81) darauf hin, dass auf Grundlage der ca. 1 Mrj alten Fossilien von Java dessen frühes Gehirnwachstum wahrscheinlich „entweder im Bereich der modernen Menschen oder knapp darunter“ lag. Abschließend schreibt er, dass *Homo erectus* vor 1 Mrj „wahrscheinlich durch hohe, menschenähnliche Wachstumsraten des kindlichen Gehirns gekennzeichnet war, die früheren Australopithecinen aber wahrscheinlich nicht.“ SMITH et al. (2010, 371) gelangen zu einer ähnlichen Einschätzung hinsichtlich der Zahnentwicklung: „Aktuelle Belege deuten darauf hin, dass sowohl *H. erectus* als auch der Neandertaler ein längeres Wachstums- und Entwicklungsmuster aufweisen als Schimpansen und Australopithecinen [...]“. Auch DEAN & SMITH (2009, 109) führen eine Reihe Studien auf, die zeigen, dass *Homo erectus* inklusive KNM-WT 15000 „nicht das primitive Muster der Zahnbildung teilt, das man bei *Australopithecus* beobachtet.“²⁴

Zusammengefasst bedeutet dies, dass im Bereich der Gehirnentwicklung sehr wahrscheinlich eine deutliche Kluft zwischen großaffenartigen Australopithecinen und dem menschlichen *Homo erectus* in der Individualentwicklung bestand. Die Bildungsdauer der Zahnwachstumslinien (Perikymata) ist hingegen bei heutigen Menschenaffen und Menschen sowie wohl auch bei fossilen Australopithecinen sehr variabel und überlappt auch stark. Daher lässt sich anhand dieses Merkmals nur schwerlich eine Unterscheidung in affen- bzw. menschenähnliche Wachstumsmuster ableiten oder gar ein konkretes Alter eines Fossils rekonstruieren.

Abb.6 Für die Schädel von *Australopithecus africanus* (Taung, links) und *Australopithecus afarensis* (A.L.333-105, mittig und DIK1-1, rechts) wurden ganz unterschiedliche Alter anhand der Perikymata ermittelt. (Wikimedia: José-Manuel Benito Álvarez & Locutus Borg, CC0; Matt Celeskey, CC BY-SA 2.0; Adam Jones, CC BY-SA 2.0)

Altersbestimmungskriterium	Vorläufige Ergebnisse für den Turkana Boy
Verlauf der Zahndurchbrüche	menschlich
Zahndurchbruch	7,3 bis 12,9 Jahre
Zahnwachstum und Zahnwachstumslinien (Perikymata)	ca. 7,3 bis 10,1 Jahre (oder 10,5 Jahre)
Zustand der Zahnkrone und -wurzel	minimal: 7,5 bis 9,4 Jahre maximal: 11,8 bis 14,4 Jahre (je nach Autoren) Eine fertige Eckzahn-Zahnwurzel wird heute mit maximal ca. 12,6 Jahren erreicht, die der Turkana Boy noch nicht besitzt.
Rekonstruierte Körpergröße (im Vergleich mit modernen Jungen aus Deutschland bzw. Mosambik)	10 bis 18 Jahre
Epiphysen	maximal 11 bis 14 Jahre
Gehirnentwicklung	menschlich

Tab. 8 Zusammenschau wichtiger Altersbestimmungskriterien und deren vorläufige Ergebnisse für den Turkana Boy unter der Voraussetzung, dass dieser ein modern-menschliches, nicht krankhaftes Entwicklungsmuster hatte. (Quellenangaben s. o.)

6. Fazit

Das Sterbealter des Turkana Boy ist aufgrund vieler unsicherer Faktoren nicht eindeutig bestimmbar, vielmehr gibt es eine große Bandbreite in den Rekonstruktionsmöglichkeiten. Die Interpretationen auf Basis der Kriterien zur Altersrekonstruktion sind insgesamt mit großen Unsicherheiten behaftet – wie Körperwachstum, Epiphysenschluss, Zahndurchbruch, Zahnbildung, Zahnwachstumslinien und Geschlechtsreife. Dies liegt daran, dass diese Merkmale individuell sehr variabel sind, wie die Vergleichsdaten von heutigen Menschen und Schimpansen zeigen. Beispielsweise unterscheidet sich bei heutigen Jungen (v. a. bei verzögerter Pubertät) das tatsächliche Alter bzw. das Zahnalter zum Teil erheblich von dem ermittelten Skeletalter.

Wenn aber das Sterbealter des Turkana Boy stattdessen nur unsicher ist, dann ist auch die Dauer der Individualentwicklung ungeklärt. Es ist somit höchst spekulativ, die Individualentwicklung des *Homo erectus* als intermediär zwischen großaffenähnlichen Australopithecinen und modernen Menschen zu bezeichnen. Es ist hingegen wahrscheinlicher, dass *Homo erectus* eine menschliche Individualentwicklung aufwies, während diese bei *Australopithecus* großaffenartig war (vgl. auch COFRAN 2019).

Wenn der Turkana Boy zum Todeszeitpunkt grob geschätzt 10 Jahre alt war, spricht dies für eine modern-menschliche Individualentwicklung.

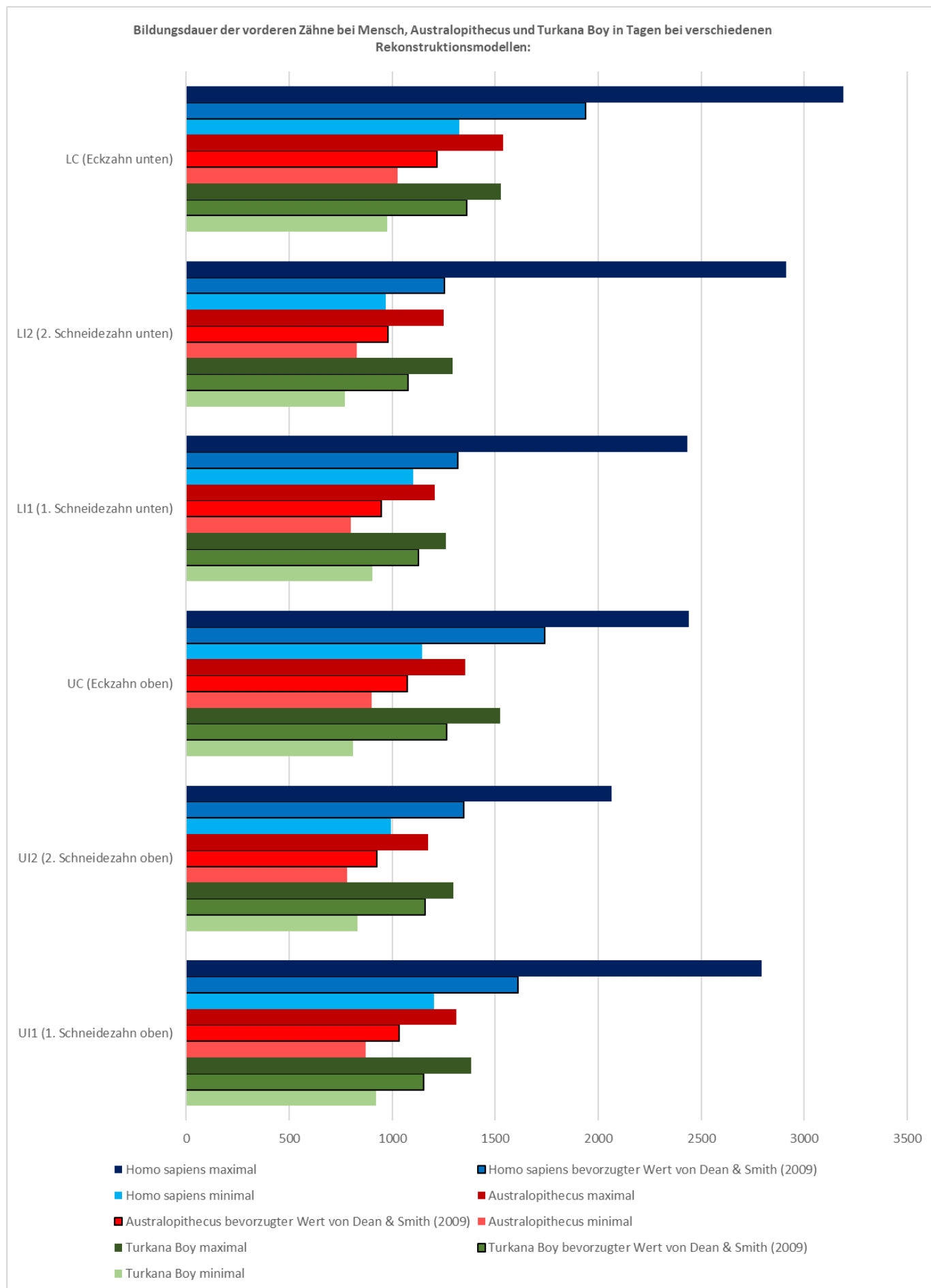
Im Bewusstsein all der Unsicherheiten bei der Altersbestimmung sind in Tab. 8 wesentliche (vorläufige) Ergebnisse des vorliegenden Artikels festgehalten. Diese Ergebnisse zeigen – entgegen der Meinung vieler Paläanthropologen –, dass der Turkana Boy hinsichtlich der untersuchten Merkmale in die Variationsbereiche einer nicht

krankhaften, modern-menschlichen Individualentwicklung fällt, falls er zum Todeszeitpunkt grob geschätzt 10 Jahre alt war (vgl. dazu auch DEAN & SMITH 2009). Dabei muss man nicht einmal den diskutierten Spielraum nicht krankhafter und krankhafter Entwicklungsverzögerungen einzelner Merkmale der Individualentwicklung bei heutigen Menschen miteinbeziehen (welche sich um bis zu 3 Jahre unterscheiden können).²⁵ Die Annahme einer normalen, menschlichen Entwicklung eines zehnjährigen Jungen beim Turkana Boy hat allerdings die Einschränkung, dass nicht bei jedem Merkmal heutige Durchschnittswerte angenommen werden (vgl. DEAN & SMITH 2009), sondern die gesamte Breite nicht krankhafter Merkmalsverteilungen vorausgesetzt wird. Dies erscheint m. E. für eine ausgestorbene Menschenform angemessener, als wenn man nur modern-menschliche Durchschnittswerte verwendet, die stark von Population und Lebensumständen abhängen. In Anbetracht dieser Datenlage kann *Homo erectus* (trotz kleinerer Gehirne, vgl. SCHOLL 2022) anhand der Einordnungskriterien von COLLARD & WOOD (2015, s. Einleitung) als *voll menschlich* eingestuft werden.

Doch selbst wenn weitere Forschungsergebnisse bei einigen Merkmalen des Turkana Boy eine für heutige Menschen anormale Individualentwicklung ergeben sollten, bedeutet dies – auch wenn es die Argumentation der Grundtyp-Perspektive durchaus schwächt – noch nicht endgültig, dass er nicht voll menschlich gewesen sein kann. Denn laut Grundtyp-Modell ist Folgendes zu beachten: *Homo erectus* ist eine sehr frühe, aber ausgestorbene Menschenform und könnte daher einen größeren oder etwas anderen Variationsbereich als heutige Menschen besitzen haben, da er dem genetisch vielfältig erschaffenen ersten Menschen zeitlich viel näher stand als wir Menschen heute. Daher verbleibt sowohl aus Schöpfungsperspektive wie aus evolutionärer Sicht ein großer Forschungsbedarf zur Individualentwicklung von fossilen Homininen.

7. Anhang

Anhang Abb. 1 Eigene Berechnung der Bildungsdauer der vorderen Zähne bei Mensch, *Australopithecus* und Turkana Boy in Tagen bei verschiedenen Rekonstruktionsmodellen, basierend auf den Ergebnissen von Anhang Tab. 1–2.



Anhang Tab. 1 Perikymata bei modernen Menschen bei bleibenden Schneide- und Eckzähnen. In **Grün** sind die minimalen Werte markiert und in **Rot** die maximalen Werte. (Spalten 2–7 nach MONGE et al. 2006, Tab. 1; Spalte 7 z. T. nach GUATELLI-STEINBERG et al. 2005, Fig. 2; Spalte 8: REID et al. 1998, Tab. 2; Spalte 9: DEAN & FERALL 2006, Tab. 1 + Fig. 2: 49 untere Eckzähne aus dem Mittelalter in Dänemark)

Studien	Dean et al. 2001	Beynon & Dean 1991			Ramirez Rozzi & Mermudez de Castro 2004	Dean et al. 1992	Beynon 1992	Guatelli-Steinberg et al. 2005 (Eckzähne geschätzt nach Fig. 2 im Original)			Reid et al. 1998, Tab. 2 („adjusted imbricational striae“)		Dean & Ferrell 2006	
		Gesamt / ø	Min.	ø				Max.	Gesamt / ø	Inuit	Newcastle	Südafrika	Min.	Max.
UI1	165	135	160	208	156			170	165	115	119	170		
UI2	134	123	139	153	147	162		151	130	113	104	150		
UC								161	148	133	138	173		
LI1	133	111	132	154	148	197	133 +/- 15,5	128	130	107	110	127		
LI2	130	110	141	164	158	224		140	128	110	148	172		
LC								197	199	163	206	225	142	257

Kronenbildungszeit Turkana Boy unter modern-menschlichen Standards (v. a. Reid & Dean 2006)												
Zahn	Okklusaler Schmelz Bildungszeiten (95% CI) (DEA)		Anzahl Perikymata (DEA)		Periodizität in Tagen			10 (DEA) D&S+		Max. 11 bis 12 ^a		Insgesamt (Tage)
	Min.	Ø	Max.	Messwerte der Fossilien:	Min. 6 bis 8 ^a	8 (DEA)	10 (DEA) D&S+	Max. 11 bis 12 ^a	D&S+	Min.	Max.	
UI1	169	212	256	94	752	752	940	1128	921	1152	1384	
UI2	160	201	241	96	672	768	960	1056	832	1161	1297	
UC	209	266	323	100	600	800	1000	1200	809	1266	1523	
LI1	135	169	203	96	768	768	960	1056	903	1129	1259	
LI2	126	157	189	92	644	736	920	1104	770	1077	1293	
LC	206	262	317	110	770	880	1100	1210	976	1362	1527	
Kronenbildungszeit weiterer, relativ sicher <i>Homo erectus</i> zuzuordnender Fossilien unter modern-menschlichen Standards												
LI2 (KNM-ER 820)	133	162	191	113	791	904	1130	1356	924	1292	1547	
UI2 (KNM-ER 808)	169	207	244	97	679	776	970	1067	848	1177	1311	
UC (Sangiran 4)	220	273	324	138	828	1104	1380	1656	1048	1653	1980	
Kronenbildungszeit <i>Australopithecus</i>												
Zahn	Okklusaler Schmelz Bildungszeiten (DEA)		Anzahl Perikymata (DEA)		Periodizität in Tagen			Max. 9 (D&S+)		Insgesamt (Tage)		
	Min.	Ø	Max.	Ø	Min. 6 (HU)	7 (D&S+)	8 (DEA) (Max. HU)	Max. 9 (D&S+)	Min.	D&S+	Max.	
UI1	134	173	205	123	738	861	984	1107	872	1034	1312	
UI2	126	163	194	109	654	763	872	981	780	926	1175	
UC (Tippfehler: „UI1“)	170	220	258	122	732	854	976	1098	902	1074	1356	
LI1	104	136	164	116	696	812	928	1044	800	948	1208	
LI2	96	127	153	122	732	854	976	1098	828	981	1251	
LC	167	216	253	143	858	1001	1144	1287	1025	1217	1540	
KNM-ER 1590 (evtl. „Homo“ <i>rudolfensis</i> , vgl. Scholl 2022) unter <i>Australopithecus</i> -typischen Standards												
UI1	179	219	258	114	684	798	912	1026	863	1017	1284	
UC	220	273	324	127	762	889	1016	1143	982	1162	1467	
Kronenbildungszeit <i>Homo sapiens</i>												
Zahn	Okklusaler Schmelz Bildungszeiten (DEA)		Anzahl Perikymata (DEA)		Periodizität in Tagen			Max. 11 bis 12 ^a		Insgesamt (Tage)		
	Min.	Ø	Max.	Min. ^b	Max. ^b	Ø (DEA)	8 (DEA) (D&S+)	10 (DEA)	Max. 11 bis 12 ^a	Min.	D&S+	Max.
UI1	282	289	296	115	165	208	1320	1650	2496	1202	1609	2792
UI2	266	274	282	104	134	162	1072	1340	1782	994	1346	2064
UC	347	355	363	133	148	173	1184	1480	2076	1145	1739	2439
LI1	245	256	267	107	133	197	1064	1330	2167	1101	1320	2434
LI2	200	212	224	110	130	224	1040	1300	2688	970	1252	2912
LC	332	348	364	142	199	257	1592	1990	2827	1326	1940	3191

Anhang Tab. 2 Eigene Errechnung der Kronenbildungszeit beim Turkana Boy, *Australopithecus* und Menschen im Vergleich in Tagen. (Abkürzung der verwendeten Quellen: DEA = DEAN et al. 2001; D&S = DEAN & SMITH 2009; HU = HU et al. 2011, Tab. 2; D&S+ = bevorzugt von DEAN & SMITH 2009)

^a Periodizität heutige Südafrikaner minimal: 8 Tage (UI1, LI1) bzw. 7 Tage (UI2, LI2, LC) bzw. 6 Tage (UC); Periodizität heutige Südafrikaner maximal: 12 Tage (UI1, UC, LI2) bzw. 11 Tage (UI2, LI1, LC) (nach REID & DEAN 2006, Tab. 2). Dementsprechend wird für die Spalte „Min.“ bei „Periodizität in Tagen“ die min. Perikymata-Anzahl mit der min. Periodizität (für Zahn und Spezies) multipliziert; bei „Max.“ wird die maximale Perikymata-Anzahl mit der max. Periodizität multipliziert, um einen theoretischen Spielraum des modern-menschlichen Variationsbereichs zu erhalten.

^b Minima und Maxima nach Anhang Tab. 1 je nach Zahntyp.

Zahn beim Turkana Boy (jeweils einer vorliegend):	Stadium beim Turkana Boy	Durchschnitt bei heutigen Menschen (Dean & Smith 2009)	Liversidge et al. (2006) nach Dean & Smith (2009): Jungen weltweit	Liversidge (pers. comm., 2008) nach Dean & Smith (2009): Altersspanne afrikanischer Jungen	Schaefer et al. (2009, 82–85): Altersspanne Jungen aus Boston
UI1 (1. oberer Schneidezahn)	Ac (Apex = Zahnwurzelspitze: geschlossen)	>10,60 Jahre		Rc (ist früher): 7,1 bis 10,5 Jahre	
UI2 (2. oberer Schneidezahn)	Rc-A 1/2 (Wurzellänge vollständig, Apex halb geschlossen)	10,1 Jahre		R 3/4 (ist früher): 5,7 bis 11,5 Jahre	
UM3 (oberer Weisheitszahn) (M3 noch nicht durchgebrochen)	Cr 3/4 (Krone zu 3/4 vollständig)	12,3 Jahre		C 3/4: ²⁷ 6,5 bis 13,5 Jahre	M3: C 3/4: 9,4 bis 14,2 Jahre
LI2 (2. unterer Schneidezahn)	Ac (Apex geschlossen)	>9,90 Jahre	Stage G (= Rc; ist früher als Ac = Stage H) ²⁸ : 8,76 bis 12,98	Ac (mindestens): 5,7 bis 10,0 Jahre	
LC (unterer Eckzahn)	R 3/4 (3/4 der Wurzellänge)	10,2 Jahre	Stage F (= R 1/2– 3/4, maximal) ²⁹ : 7,05 bis 14,88 Jahre	R 3/4: 7,5 bis 13,9 Jahre	C: R 3/4: 7,8 bis 11,8 Jahre
LP3 (unterer 1. Vorbackenzahn)	R 1/2–3/4 (Wurzellänge 1/2 bis 3/4)	10 Jahre	Stage F (identisch): 8,56 bis 14,38 Jahre	R 3/4 (maximal): 7,5 bis 13,5 Jahre	P3 (PM1): R 1/2–3/4: 7,0 bis 12,2 Jahre
LP4 (unterer 2. Vorbackenzahn)	R 1/2–3/4 (Wurzellänge 1/2 bis 3/4)	10,5 Jahre	Stage F (identisch): 5,56 bis 15,98 Jahre	R 3/4 (maximal): 8,5 bis 14,2 Jahre	P4 (PM2): R 1/2–3/4: 7,7 bis 13,3 Jahre
LM2 (unterer 2. Backenzahn)	R 1/2 (Wurzellänge 1/2)	10,5 Jahre	Stage F (= R 1/2– 3/4, maximal): 5,56 bis 14,99 Jahre	R 3/4 (ist später: 9,7 bis 14,2 Jahre)	M2: R 1/2: 8,1 bis 12,3 Jahre
Zahnalter im Unterkiefer		ca. 10,3 Jahre	Demzufolge 8,8 bis 14,4 Jahre	Demzufolge 7,5 bis 13,5 Jahre	Demzufolge 8,1 bis 11,8 Jahre
Zahnalter insgesamt		10,6 Jahre im Schnitt laut Dean & Smith 2009	Demzufolge 8,8 bis 14,4 Jahre	Demzufolge 7,5 bis 13,5 Jahre; 10,1 Jahre im Schnitt laut Liversidge	Demzufolge 9,4 bis 11,8 Jahre

Anhang Tab. 3 Der Zahnzustand beim Turkana Boy im Vergleich mit heutigen Populationen, wo vergleichbare Zahnstadien angegeben waren. (DEAN & SMITH 2009, Tab. 10.²⁶ sowie SCHAEFER et al. 2009, 82–85)

Bei der folgenden Altersabschätzung in Anhang Tab. 4 anhand der Zahnablagerungsmuster des Turkana Boy von DEAN & SMITH (2009) gibt es eine Reihe kritischer Punkte. Erstens ist der Beginn der Mineralisation nicht durch eine breite Datenbasis untermauert, sondern bezieht sich wahrscheinlich nur auf einen einzigen mittelalterlichen Eckzahn mit rekonstruierter Altersangabe bei REID et al. (1998, Tab. 3, vgl. DEAN & READ 2001). Zweitens ist zur Bildung des versteckten Höckerschmelzes nur ein durchschnittlicher, rekonstruierter Wert verwendet worden, der wiederum aber auf einer rekonstruierten Formel sowie auf der durchschnittlichen modern-menschlichen Schmelzdicke des oberen Eckzahns beruht (vgl. DEAN et al.

2001, Tab. 1+Fig. 1 sowie REID & DEAN 2000); daher sollte man vielleicht stattdessen heutige menschliche Bildungsdauern zur Rekonstruktion verwenden. Drittens ist die Periodizität der Perikymata-Ablagerungen beim Menschen viel variabler (vgl. z. B. REID & DEAN 2006, Tab. 2+3); außerdem sollte hier nicht die Ablagerungsrate bei Schimpansen, sondern bei Menschen verwendet werden (dann läge der Maximalwert laut Autoren bei 8,3 statt bei 8,8 Jahren, wie hier in Tab. 1 zitiert). Und viertens wurde die Zeitdauer der Wurzelbildung aufgrund zu hoch angesetzter Wurzelbildungsraten unterschätzt und von den Autoren sogar mit der von Afrikanischen Affen verwechselt (vgl. REID & DEAN 2006, Tab. 2+3).³⁶

Zeitabschnitt	8-Tage-Periodizität nach Dean & Smith 2009	10-Tage- Periodizität Dean & Smith 2009	Minimale Dauer (eigene Rechnung)	Maximale Dauer (eigene Rechnung)
1. Geburt bis zum Beginn des UC (Beginn Mineralisation unterer Eckzahn)	Dean & Smith 2009: 274 ³⁰	Dean & Smith 2009: 274	Nach Schaefer et al. (2009) minimal: ca. 70 ³¹ Dean (2016, 6): 1/4 Jahr ≈ 91 Tage	Nach Schaefer et al. (2009) maximal: ca. 260 Dean & Smith 2009: 274 Dean (2016, 6): 3/4 Jahr ≈ 274 Tage
2. Bildung von verstecktem Höckerschmelz („hidden cusp“)	266	266	Nach Dean et al. 2001: Minimal für rekonstruierten <i>H. erectus</i> : 209 Minimal für <i>H. sapiens</i> : 347 (Nach Schwartz & Dean 2001: Minimale „cuspal enamel formation time“ männl. <i>H. sapiens</i> : 307)	Nach Dean et al. 2001: Maximal für rekonstruierten <i>H. erectus</i> : 323 Maximal für <i>H. sapiens</i> : 363 (Nach Schwartz & Dean 2001: Maximale „cuspal enamel formation time“ männl. <i>H. sapiens</i> : 473)
3. Bildung einer sichtbaren UC-Krone bis zur zweiten hypoplastischen Linie (100 gezählte Perikymata)	8-Tage-Periodizität: 800	10-Tage- Periodizität: 1000	Minimal: 6-Tage-Periodizität für UC (nach Reid & Dean 2006) ³² : 600	Maximal: 12-Tage-Periodizität für UC (nach Reid & Dean 2006): 1200
4. UM2 gebildet von der zweiten hypoplastischen Linie bis zum Kronenabschluss (25 gezählte Perikymata)	8-Tage-Periodizität: 200	10-Tage- Periodizität: 250	Minimal: 7-Tage-Periodizität für UM2 (nach Reid & Dean 2006, Tab. 2): 175	Maximal: 11-Tage-Periodizität für UM2 (nach Reid & Dean 2006, Tab. 2): 275
5. Zeit bis zur Bildung von 9,3 mm der M2-Wurzel	Bei Bildungsdauer von im Schnitt 7,6 µm/Tag bei Menschen ³³ : 1241	1241	Errechnet nach Dean & Vasey (2008, Tab. 2) ist die tatsächliche Bildungsdauer für die ersten 9,3 mm: 1629 ³⁴	1629
Tage gesamt	2781 Tage	3031 Tage	Summe minimaler Werte: 2683 Tage	Summe maximaler Werte: 3701 Tage für rekonstruierten <i>Homo erectus</i> (bzw. 3741 Tage für Werte von <i>Homo sapiens</i> nach Dean et al. 2001; 3851 Tage nach Schwartz & Dean 2001)
Jahre gesamt	7,6 Jahre	8,3 Jahre	Mind. 7,3 Jahre	Max. 10,1 Jahre (10,5 Jahre für <i>Homo-sapiens</i>-Werte nach Schwartz & Dean 2001)

Anhang Tab. 4 Eigene Altersabschätzung anhand des unteren Eckzahns (UC) und des oberen zweiten Backenzahns (UM2) samt ihrer Zahnbildungslinien beim Turkana Boy in Tagen; unter der Voraussetzung der menschlichen Vielfalt der Individualentwicklung. Die fünf angegebenen Schritte sollen alle Zeitpunkte von der Geburt bis zum Todeszeitpunkt umfassen. Die Eichung von Zeile 3 zu Zeile 4 ergibt sich aufgrund von zwei Störungslinien des Zahnwachstums („linear hypoplastic bands“), die bei UC und UM2 gleichermaßen vorliegen und so wahrscheinlich vom selben Zeitpunkt stammen. (Eigene Darstellung nach DEAN & SMITH 2009, Tab. 10-4; sowie basierend auf DEAN et al. 2001, Tab. 1; SCHWARTZ und DEAN 2001, Tab. 3; REID & DEAN 2006, Tab. 2+3; SCHAEFER et al. 2009, 82–85)

Unter den genannten Änderungsvorschlägen kommt eine eigene Mikroanalyse der Zahnbildung nicht auf eine Spanne von 7,6 bis 8,8 Jahren (wie oben in Tab. 1 angegeben), sondern auf ca. 7,3 bis 10,1 Jahre für den Turkana Boy. Selbst wenn man eine 10-Tages-Periodizität der Perikymata-Ablagerung annimmt, wie DEAN & SMITH (2009) sie bevorzugen, und nur die nicht korrekte Ablagerungsdauer der M2-Wurzel (5.) ändert, ergibt sich immer noch ein durchschnittliches Alter des Turkana Boy von 9,4 Jahren, was nur 0,6 Jahre (ein nicht ungewöhnlicher Abstand zwischen Skelett- und Zahnalter bei heutigen Jungen, vgl. Abschnitt

4) von der ebenfalls von DEAN & SMITH akzeptierten Spanne des Skelettalters (10 bis 15 Jahre) entfernt ist. Entgegen der Ansicht der beiden Autoren ist daher die Individualentwicklung nicht deutlich näher zu etwa gleich weit entwickelten Schimpansen (ca. 7 bis 7,5 Jahre) als zu gleich weit entwickelten modernen Menschen. Dementsprechend stehen auch die weitreichenden Schlussfolgerungen von DEAN & SMITH (2009) über eine mehr affenähnliche Individualentwicklung, Gehirnentwicklung und Lebensweise beim Turkana Boy auf wackeligen Füßen.

8. Anmerkungen – Literatur

Anmerkungen

- ¹ Wenn man die Durchschnittswerte von Schimpansen anlegen würde – was aber dem Grundtypmodell nach BRANDT (2017) widerspricht – hätte der Turkana Boy ein Skelettalter von 7,5 Jahren und ein Zahnalter von 7 Jahren (DEAN & SMITH 2009).
- ² An dieser Abschätzung gibt es wesentliche Kritikpunkte (s. Anhang Tab. 2).
- ³ Perikymata (auch Retzius striae oder Retzius-Linien) sind unter dem Mikroskop sichtbare Wachstumslinien des Zahnschmelzes, die parallel von Seite zu Seite mit einem Linienabstand zwischen 4 und 150 µm verlaufen (vgl. TAN et al. 2017).
- ⁴ Homininen sind vermutete Vorfahren des Menschen im Rahmen des Evolutionsmodells seit Aufspaltung von den Schimpansenvorfahren vor ca. 5 bis 7 MrJ.
- ⁵ GUATELLI-STEINBERG et al. (2005) kommen nach dem Vergleich mit Menschen verschiedener Populationen (Inuit, Newcastle, Südafrika) zu dem Schluss, dass Neandertaler hinsichtlich des Zahnwachstums modern-menschlich waren: „Thus, Neandertal tooth growth and, by extension, somatic growth, appears to be encompassed within the modern human range of interpopulation variation.”
- ⁶ „Humans form thick enamel along a different developmental trajectory, so thick enamel in modern humans and in early fossil hominins are not homologous.”
- ⁷ DEAN & SMITH (2009, Tab. 10.1) geben leider kaum eine Spannbreite beim Durchbruchsalter der Zähne an und veranschlagen pauschal für M1 (1. Backenzahn) 3,3 Jahre beim Schimpansen und 5,7 Jahre beim Menschen.
- ⁸ Detaillierte Angaben zur Zahnentwicklung wie Zahndurchbruch, Kronen- und Wurzelentwicklung bei heutigen Menschen finden sich auch bei SCHAEFER et al. (2009, 82–85).
- ⁹ Ein Durchtritt der 2. Backenzähne (M2) vor den Eckzähnen (C) tritt zwar gewöhnlicherweise bei Schimpansen auf, kommt aber auch bei 11 bis 13 Prozent der heutigen Menschen vor (GRAVES et al. 2010).
- ¹⁰ Allerdings zeigen RUFF & BURGESS (2015, Tab. 2), dass selbst bei Gemeinen Schimpansen das noch mögliche Wachstum der Oberschenkelkopf-Breite nach dem Durchbruch des zweiten Backenzahns (M2) bis zum Erwachsensein von 2,3 bis 27,7 Prozent schwanken kann. Dies zeigt, dass auch der Zahndurchbruch bei der Einschätzung der Individualentwicklung mit großen individuellen Unterschieden behaftet ist. DEAN & SMITH (2009) sehen die Schwankungen des Skelettalters beim Menschen als höher an als beim Zahnalter, obwohl Über- oder Unterernährung beides beeinflussen kann.
- ¹¹ Stw 151 wurde bereits verschiedenen Spezies zugeordnet: *Homo sp.* (unbekannter *Homo*) und dem mehrheitlich nicht anerkannten Taxon *Homo gautengensis* (vermeintliches Übergangstaxon zwischen „*Homo*“ *habilis* und *Homo erectus*), zeigt aber auch Ähnlichkeiten zu *Australopithecus* und „*Homo*“ *habilis* z. B. hinsichtlich der Zahnkrone; allerdings waren Vergleiche mit *Homo erectus* hier gar nicht möglich (vgl. CURNOE 2010). Letztlich ist Stw 151 damit nicht sicher einzuordnen.
- ¹² MAHONEY et al. (2016) berichten sogar von einer sehr kurzen Perikymata-Ablagerungsdauer bei einem mittelalterlichen oberen 2. Milchbackenzahn (M2) aus England von nur 4–5 Tagen, geben aber sonst 6 bis 10 Tage für acht weitere dieser Zähne derselben Epoche an.
- ¹³ „However, the pattern of skeletal and dental development in Nariokotome is not much outside the range of “tall” modern human children (Šešelj 2011), hinting perhaps at the modularity (i.e., independence) of developmental systems. Unfortunately, there are no data for M1 emergence for non-*erectus* early *Homo*, and we caution that M1 development can be decoupled from somatic growth rates (Dirks and Bowman 2007; Godfrey et al. 2003). Thus, life history reconstructions suggest a pattern of growth modestly different from *Australopithecus* yet distinct from later *Homo* species such as Neanderthals and modern humans.” (S481)
- ¹⁴ „As such, it seems likely, based on what we know of the extant record, that *H. erectus* [...] possessed a level of developmental plasticity similar to that seen in modern humans [...]” (S489)
- ¹⁵ ILIEVA et al. (2002) beschreiben auch einen signifikant geringeren Anteil der Kinder mit frühem Durchbruch des M1 im Jahr 2001 im Vergleich mit dem Jahr 1995.
- ¹⁶ SMITH & DEAN (2009) berichten von dem Extremfall eines neunjährigen Jungen mit einer hormonellen Störung, der vollständig geschlossene Epiphysen besaß – wofür er im Schnitt 7,3 Jahre zu jung war. Sollten die Autoren Recht behalten, dass das Skelettalter dem Zahnalter um mehr als 3 Jahre beim Turkana Boy voraus ist, würden die Autoren das Fossil unter menschlichen Umständen als krankhaft einstufen. Eine solche Diskrepanz zwischen Skelett- und Zahnalter ist in Anbetracht der hier vorgebrachten Argumente aber als spekulativ zu bezeichnen.
- ¹⁷ Im Jahr 2011 waren deutsche Männer durchschnittlich 179 cm groß (vgl. auch <https://www.ncdrisc.org/height-mean-map.html>, aufgerufen am 26.09.2022), was sich von der Erwachsenengröße her gut als Referenz für den Turkana Boy eignet, der ca. 180 cm groß geworden wäre. Auch die ermittelten Durchschnittswerte von *Homo erectus* in Afrika und Asien (außer in Georgien) sind höchstens 2 bis 3 cm niedriger als die der Deutschen im Jahr 2011; dies ist möglicherweise der guten Ernährungssituation mit viel Großwild als Jagdbeute in der frühen Altsteinzeit geschuldet (vgl. ebd.; BRANDT 2020, 37f, 46, 50–53, 60–62, 208f).
- ¹⁸ Da für Kenia keine entsprechenden Daten verfügbar waren, wurden hier die heutigen Daten für Jungen aus Mosambik, einem anderen Land im östlichen Afrika, verwendet (FANTA 2018).
- ¹⁹ DEAN & SMITH (2009) kommentieren mit gewisser Skepsis: „Nariokotome might then be interpreted in a modern human context as resembling a well-fed very early maturing modern child.”
- ²⁰ Obwohl RUFF & BURGESS (2015) von einem Wachstumsmuster ähnlich der Afrikanischen Menschenaffen ausgehen, sind sie der Meinung, dass der Turkana Boy noch mindestens 4 Jahre hätte wachsen können und damit selbst bei der favorisierten Wachstumskurve von GRAVES et al. (2010) ca. 176 cm groß geworden wäre. Mithilfe eigener Berechnungen kommen RUFF & BURGESS (2015, Tab. 4) für den erwachsenen Turkana Boy auf ca. 176 bis 180 cm (±4–5 cm) und ca. 80 bis 83 kg (mit größerer Unsicherheit); wenn sie ein rein menschliches Wachstum zugrunde legen, sind es ca. 181 cm und 78 kg. Dies passt zu anderen ostafrikanischen *Homo-erectus*-Funden, welche „insgesamt strukturell und funktional deutlich verschieden waren“ von „*Homo*“ *habilis* (S. 80). Die Autoren betonen aber die vielfältigen Unsicherheiten bei solchen Abschätzungen.
- ²¹ „Thus, femoral trochlear morphology also cannot be used to argue for a late adolescent developmental stage for KNM-WT 15000.” (RUFF & BURGESS 2015, 75)
- ²² „Beyond these specific morphological features, though, a simple consideration of the stage of epiphyseal union of KNM-WT 15000 suggests that growth was nowhere nearly complete at the time of his death. Except for a partial fusion of the distal epiphysis of the right humerus (Walker and Leakey, 1993b), all long bone epiphyses were completely unfused, as were the primary elements of the coxal bones.” DEAN & SMITH (2009, 101) formulieren es so: „Major ossification centers of long bone epiphyses had appeared and most remained unfused; of note, the triradiate cartilage still separated primary elements of

- the innominate. Epiphyses of the distal humerus had begun to fuse". Dabei gilt folgendes Muster (ebd., 103), das zeigt, dass der Turkana Boy noch lange nicht ausgewachsen war: „Like many other primates, humans ossify the appendicular skeletal joints in sequence from elbow, hip, ankle, knee, wrist, to shoulder [...], although great apes and humans delay the start of this fusion sequence until puberty or after".
- ²³ Allerdings erschwert eine Überlappung der niedrigeren Werte des Gehirnwachstums des Menschen mit den hohen Werten der Afrikanischen Menschenaffen die Unterscheidung zwischen diesen Gruppen.
- ²⁴ Z. B. ist die frühe Vervollständigung der Eckzahnkronen menschlicher als bei *Australopithecus* bzw. den wenigen „*Homo*“-*habilis*-Funden (vgl. DEAN & SMITH 2009).
- ²⁵ Unter Einbezug krankhafter Entwicklungen würden selbst die (nicht korrekten) Zahnaltersbestimmungen beim Turkana Boy von DEAN & SMITH (2009, 116f) noch in das menschliche Spektrum fallen: „While it can be argued that KNM-WT 15000 falls within the total range for modern humans if we include growth disorders [...]“.
- ²⁶ Leider sind die weltweiten Werte von LIVERSIDGE (2006) in der Tabelle von DEAN & SMITH (2009) in einem anderen Zahnalter-Klassifikationssystem angegeben (dem von DEMIRJIAN et al. 1973), was die Vergleichbarkeit erschwert.
- ²⁷ „C“ steht so im Original und meint wahrscheinlich „Cr“.
- ²⁸ Nach LIVERSIDGE (2008, Tab. 10-3).
- ²⁹ Nach LIVERSIDGE (2008, Tab. 10-3).
- ³⁰ Die Zahl basiert nur auf 4 Individuen aus dem französischen Mittelalter in REED et al. (2000, Tab. 3), die 0,55 bzw. 0,75 Jahre angeben; und wird von da an von REID & DEAN (2000 sowie 2006) weiter zitiert.
- ³¹ Das von SCHAEFER et al. (2009) verwendete Kürzel „Ci“ ist nach LIVERSIDGE (1995, Fig. 2) dasselbe wie die erste beobachtbare Mineralisation. Die hier angegebenen Werte sind sehr stark gerundet.
- ³² Die Periodizität zur Bildung von Zahnlinien des oberen Eckzahns bzw. des 2. Backenzahns schwankt bei heutigen Südafrikanern erheblich um 6 bis 12 Tage bzw. 7 bis 11 Tage ($\pm$ ca. 1,3 bzw. 1,00 bei Standardabweichung (SD) von 1), so dass die Minimal- und Maximalwerte noch extremer sein könnten (REID & DEAN 2006, Tab 2+3).
- ³³ Bei einer Bildungsdauer von im Schnitt 6,5 $\mu\text{m}/\text{Tag}$ bei Schimpansen: 1424 Tage. So kommen DEAN & SMITH 2009 auf ihren Maximalwert von 8,8 Jahren. Im Fließtext tauschen sie aber die Werte von Afrikanischen Menschenaffen und Mensch (vgl. Anhang Tab. 4), was wohl auf einer Verwechslung beruht.
- ³⁴ Dies ergibt sich aus den jeweiligen Wurzellängen und der dafür gebrauchten durchschnittlichen Bildungsdauer (die

Variationsbereiche sind noch größer, vgl. DEAN & VASEY 2008, Fig. 6) von 1628,586 Tagen = $(500 \mu\text{m} / 3,6 \mu\text{m}/\text{d}) + (500 \mu\text{m} / 3,7 \mu\text{m}/\text{d}) + (1000 \mu\text{m} / 5,0 \mu\text{m}/\text{d}) + (1000 \mu\text{m} / 5,1 \mu\text{m}/\text{d}) + (1000 \mu\text{m} / 5,9 \mu\text{m}/\text{d}) + (1000 \mu\text{m} / 6,4 \mu\text{m}/\text{d}) + (1000 \mu\text{m} / 6,5 \mu\text{m}/\text{d}) + (1000 \mu\text{m} / 6,6 \mu\text{m}/\text{d}) + (1000 \mu\text{m} / 7,0 \mu\text{m}/\text{d}) + (1000 \mu\text{m} / 7,0 \mu\text{m}/\text{d}) + (300 \mu\text{m} / 7,2 \mu\text{m}/\text{d})$ bzw. ohne Einheiten: $=500/3,6+500/3,7+1000/5+1000/5,1+1000/5,9+1000/6,4+1000/6,5+1000/6,6+1000/7+1000/7+300/7,2$.

- ³⁵ DEAN & SMITH (2009) geben nämlich ca. 7,5 $\mu\text{m}/\text{Tag}$ für M2 für die ersten 9,3 mm Länge der Wurzel an, was sie aus DEAN & VASEY (2008) entnommen haben wollen. Sie schreiben im Fließtext (112, Hervorh. hinzugef.): „We know from Dean and Vesey (2008) that the **first 10 mm of M2 root forms** at a **rate of 7.5 $\mu\text{m}/\text{day}$ in *Pan*** and at **6.5 $\mu\text{m}/\text{day}$ in *H. sapiens***.“ In Tab. 10-4 (Hervorh. hinzugef.) heißt es aber dann wieder anders herum, was nur eine Verwechslung sein kann: „Range based on time to form **the first 10 mm of M2 roots form in great apes (6.5 $\mu\text{m}/\text{day}$)** and in **humans (7.6 $\mu\text{m}/\text{day}$)** (Dean and Vesey, 2008).“ Bei DEAN & VASEY (2008) tauchen in Tab. 2 und Fig. 4 sowie im Fließtext aber keine der genannten Zahlen auf. Sie ergeben sich beim Menschen auch nicht, wenn man für die ersten 9,3 mm Wurzellänge die Abschnittslänge mit der jeweiligen Bildungsgeschwindigkeit koppelt (5,9 $\mu\text{m}/\text{Tag}$), oder einfach nur allgemein den Durchschnittswert aus Tab. 2 für die ersten 10 mm M2-Wurzel ansetzt (das wäre 5,8 $\mu\text{m}/\text{Tag}$). Ein durchschnittlicher Wert von ca. 7,5 $\mu\text{m}/\text{Tag}$ beim Menschen ist schon deshalb unrealistisch, weil dies nicht einmal als Maximalgeschwindigkeit in den ersten 9,3 mm der M2-Wurzel erreicht wird (ebd., Tab. 2 und Fig. 6). Auch im Fließtext heißt es bei DEAN & VASEY (2008, 264f, Hervorh. hinzugef.): „In **M2 and M3, the average maximum extension rates are slightly slower and reach values around 7 mm per day and 6 mm per day, respectively**.“ Es scheint also eine Verwechslung bzw. eine unangemessene Rundung vorzuliegen, die bisher nicht korrigiert worden ist.
- ³⁶ $5,947312 \mu\text{m}/\text{d}$ ergibt sich bei DEAN & VASEY (2008, Tab. 2) hinsichtlich der Wurzel von M2 aus der Multiplikation der Bildungsrate je Bildungsabschnitt in μm geteilt durch die angegebenen ersten 9300 μm : Durchschnittliche Bildungsrate von 5,9 $\mu\text{m}/\text{d}$ = $(3,6 \mu\text{m}/\text{d} * 500 \mu\text{m} + 3,7 \mu\text{m}/\text{d} * 500 \mu\text{m} + 5,0 \mu\text{m}/\text{d} * 1000 \mu\text{m} + 5,1 \mu\text{m}/\text{d} * 1000 \mu\text{m} + 5,9 \mu\text{m}/\text{d} * 1000 \mu\text{m} + 6,4 \mu\text{m}/\text{d} * 1000 \mu\text{m} + 6,5 \mu\text{m}/\text{d} * 1000 \mu\text{m} + 6,6 * 1000 \mu\text{m} + 7,0 \mu\text{m}/\text{d} * 1000 \mu\text{m} + 7,0 \mu\text{m}/\text{d} * 1000 \mu\text{m} + 7,2 \mu\text{m}/\text{d} * 300 \mu\text{m}) / 9300 \mu\text{m}$. Die ebenfalls so errechnete Standardabweichung liegt bei 1,27 – was bedeutet, dass die Minimal- und Maximalwerte noch extremer sein könnten.

Literatur

- ANTÓN SC & SNODGRASS JJ (2012) Origins and Evolution of Genus *Homo*: New Perspectives. *Curr. Anthropol.* 53, S479–S496, doi: 10.1086/667692.
- BRANDT M (2017) Frühe Homininen. Eine Bestandsaufnahme anhand fossiler und archäologischer Zeugnisse. *Studium Integrale Special*. SCM Hänssler.
- BRANDT M (2020) Wie alt ist die Menschheit? Demographie und Steinwerkzeuge mit überraschenden Befunden. 6. erw. Aufl. SCM Hänssler.
- CHAITANYA P et al. (2018) Time and Eruption Sequence of Permanent Teeth in Hyderabad Children: A Descriptive Cross-sectional Study. *Int. J. Clin. Pediatr. Dent.* 11, 330–337, doi:10.5005/jp-journals-10005-1534.
- COFRAN Z (2019) Brain size growth in *Australopithecus*. *J. Hum. Evol.* 130, 72–72, doi: 10.1016/j.jhevol.2019.02.006.
- COLLARD M & WOOD B (2015) Defining the Genus *Homo*. In: HENKE W & TATTERSALL I (Ed.) *Handbook of Paleoanthropology*. Springer Verlag, 2107–2144, doi: 10.1007/978-3-642-39979-4_51.
- CURNOE D (2010) A review of early *Homo* in southern Africa focusing on cranial, mandibular and dental remains, with the description of a new species (*Homo gautengensis* sp. nov.). *Homo* 61, 151–177, doi:10.1016/j.jchb.2010.04.002.
- DEAN MC et al. (2001) Growth processes in teeth distinguish modern humans from *Homo erectus* and earlier hominins. *Nature* 414, 628–631, <https://www.nature.com/articles/414628a>.
- DEAN MC (2016) Measures of maturation in early fossil hominins: events at the first transition from australopiths to early *Homo*. *Phil. Trans. R. Soc. B* 371, 20150234, <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2015.0234>.
- DEAN MC & SMITH BH (2009) Growth and development of the Nariokotome youth, KNM-WT 15000. In: GRINE FE, FLEAGLE FE & LEAKEY RE. (Ed.) *The First Humans: Origin and Early Evolution of the Genus Homo*. Springer. New York, pp. 101–120.
- DEAN MC & LIVERSIDGE HM (2015) Age estimation in fossil hominins: comparing dental development in early *Homo* with modern humans. *Ann. Hum. Biol.* 42, 415–429, doi:10.3109/03014460.2015.1046488.
- DEAN MC & VASEY P (2008) Preliminary observations on increasing root length during the eruptive phase of tooth development in modern humans and great apes. *J. Hum. Evol.* 54, 258–271.
- EKSTRAND KR, CHRISTIANSEN J & CHRISTIANSEN MEC (2003) Time and duration of eruption of first and second permanent molars: a longitudinal investigation. *Community Dent. Oral Epidemiol.* 31, 344–350, doi: 10.1034/j.1600-0528.2003.00016.x.
- FANTA: Food And Nutrition Technical Assistance (2018) Mozambique Growth Charts and Tables for Children and Adolescents. aufgerufen am 26.09.2022, <https://www.fantaproject.org/sites/default/files/resources/Moz-Growth-TABLES-BOYS-Mar2018.pdf>.
- GRABER EG (2021) Physical Growth and Sexual Maturation of Adolescents. MSD MANUAL. Consumer Version, April 2021, <https://www.msdmanuals.com/home/children-s-health-issues/growth-and-development/physical-growth-and-sexual-maturation-of-adolescents>.
- GRAVES RR (2010) Just how strapping was KNM-WT 15000? *J. Hum. Evol.* 59, 542–554, <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2010.06.007>.
- GUATELLI-STEINBERG D et al. (2005) Anterior tooth growth periods in Neandertals were comparable to those of modern humans. *PNAS* 102, 14197–14202, doi: 10.1073/pnas.0503108102.
- HAMADA Y, UDONO T, TERAMOTO M & SUGAWARA T (1996) The growth pattern of chimpanzees: Somatic growth and reproductive maturation in *Pan troglodytes*. *Primates* 37, 279–295, <https://doi.org/10.1007/BF02381860>.
- HENKE W & ROTHE H (1999) *Stammesgeschichte des Menschen*. Eine Einführung. 1. Aufl. Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- HU R, ZHAO LX, WU XZ (2011) Periodicity of Retzius lines in fossil *Pongo* from South China. *Chin. Sci. Bull.* 57, 790–794, doi: 10.1007/s11434-011-4883-3.
- ILIEVA E, VELEGANOVA VK & BELCHEVA AB (2002) Eruption of first permanent molars in 4- to 8-year-old children. *Folia Med. (Plovdiv)* 44, 70–73.
- Ji C-Y (2001) Age at spermatheca and comparison of growth and performance of pre- and post-spermathecal Chinese boys. *J. Hum. Biol.* 13, 35–43, [https://doi.org/10.1002/1520-6300\(200101/02\)13:1<35::AID-AJHB1005>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/1520-6300(200101/02)13:1<35::AID-AJHB1005>3.0.CO;2-E).
- KJÆR I (2014) Mechanism of Human Tooth Eruption: Review Article Including a New Theory for Future Studies on the Eruption Process. *Scientifica* 2014, 341905, doi: 10.1155/2014/341905.
- LARON Z (2010) Age at first ejaculation (spermatheca) – The overlooked milestone in male development. *Pediatr. Endocrinol. Rev.* 7, 256–257. PMID: 20526238.
- LIVERSIDGE HM (1995) Crown formation times of the permanent dentition and root extension rate in humans. In: MOGGI-CECCHI J (Ed.) *Florence: International Institute for the Study of Man*, 267–275.
- LIVERSIDGE H (2008) Dental Age revisited. In: IRISH JD & NELSON GC (Ed.) *Technique and Application in Dental Anthropology*. Cambridge University Press, 234–265, https://www.dentalage.co.uk/wp-content/uploads/2014/09/liversidge_hm_dental_age_revisited_chapter_2008.pdf.
- MACHANDA Z et al. (2015) Dental eruption in East African wild chimpanzee. *J. Hum. Evol.* 82, 137–144, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhevol.2015.02.010>.
- MAHONEY P et al. (2016) Enamel biorhythms of humans and great apes: the Havers-Halberg Oscillation hypothesis reconsidered. *J. Anat.* 230, 272–281, doi: 10.1111/joa.12551.
- MARSON J, MEURIS S, COOPER RW & JOUANNET P (1991) Puberty in the male chimpanzee: progressive maturation of semen characteristics. *Biol. Reprod.* 44, 448–455, doi: 10.1095/biolreprod44.3.448.
- MONGE JM, TILLIER A-M & MANN A (2006) Perikymata number and spacing on early modern human teeth: evidence from Qafzeh cave, Israel. *Bull. Mem. Soc. Anthropol. Paris* 18, doi: <https://doi.org/10.4000/bmsap.1284>.
- PARENT A-S et al. (2003) The Timing of Normal Puberty and the Age Limits of Sexual Precocity: Variations around the World, Secular Trends, and Changes after Migration. *Endocr. Rev.* 24, 668–693, <https://doi.org/10.1210/er.2002-0019>.
- REID DJ, BEYNON AD & RAMIREZ ROZZI FV (1998) Histological reconstruction of dental development in four individuals from a medieval site in Picardie, France. *J. Hum. Evol.* 35, 463–478.
- REID DJ & DEAN MC (2000) Brief communication: The timing of linear hypoplasias on human anterior teeth. *Am. J. Phys. Anthropol.* 113, 135–139.
- REID DJ & DEAN MC (2006) Variation in modern human enamel formation times. *J. Hum. Evol.* 50, 329–346, https://www.dentalage.co.uk/wp-content/uploads/2014/09/reid_dj_dean_mc_2006_enamel_formation_times.pdf.
- REID DJ & FERRELL R (2006) The relationship between number of SR and their periodicity in imbricational enamel formation. *J. Hum. Evol.* 50, 195–202, doi:10.1016/j.jhevol.2005.09.002.
- Robert Koch-Institut (2011) Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes: Referenzperzentile für anthropometrische Maßzahlen und Blutdruck aus der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS) 2003 bis 2006. erw. Aufl., https://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBEDownloadsB/referenzperzentile/anhang.pdf?__blob=publicationFile.
- RODRIGUEZ-MARTINEZ A et al. (2020) Height and body-mass index trajectories of school-aged children and adolescents from 1985 to 2019 in 200 countries: Pooled analysis of 2,182 population-based studies with

- 65 million participants. *Lancet* 396, 1511–1524, doi: 10.1016/S0140-6736(20)31859-6.
- ROGOL AD, ROEMMICH JN & CLARK PA (2002) Growth at puberty. *J. Adolesc. Health* 31, Supplement, 192–200, [https://doi.org/10.1016/S1054-139X\(02\)00485-8](https://doi.org/10.1016/S1054-139X(02)00485-8).
- ROZZI FR et al. (2015) Growth pattern from birth to adulthood in African pygmies of known age. *Nat. Commun.* 6, 7672, <https://doi.org/10.1038/ncomms8672>.
- ROZZI FR (2016) Diversity in tooth eruption and life history in humans: illustration from a Pygmy population. *Sci. Rep.* 6, 27405, <https://doi.org/10.1038/srep27405>.
- RUFF CB & BURGESS ML (2015) How much more would KNM-WT 15000 have grown? *J. Hum. Evol.* 80, 74–82, doi: 10.1016/j.jhevol.2014.09.005.
- SCHAEFER MC, BLACK S & SCHEUER L (2009) Juvenile Osteology: A Laboratory and Field Manual. Elsevier Inc.
- SCHOLL B (2022) Homininen-Schädel: „Stolpersteine“ des Grundtypmodells? Eine schöpfungstheoretische Deutung der Funde von Dmanisi. *W+W Special Paper B-22-1*, <https://www.wort-und-wissen.org/artikel/homininen-schaedel/>.
- SCHWARTZ GT & DEAN C (2001) Ontogeny of Canine Dimorphism in Extant Hominoids. *Am. J. Phys. Anthropol.* 115, 269–283.
- SMITH TM et al. (2007) New perspectives on chimpanzee and human molar crown development. In: BAILEY SE & HUBLIN J-J (Eds.) *Dental Perspectives on Human Evolution*. Springer, 177–192, doi:10.1007/978-1-4020-5845-5_12.
- SMITH TM et al. (2010) Dental development of the Tāi Forest chimpanzees revisited. *J. Hum. Evol.* 58, 363–373.
- SMITH TM et al. (2013) First molar eruption, weaning, and life history in living wild chimpanzees. *PNAS* 110, 2787–2791, <https://doi.org/10.1073/pnas.1218746110>.
- SONG Y et al. (2016) Secular trends for age at spermatarche among Chinese boys from 11 ethnic minorities, 1995–2010: a multiple cross-sectional study. *BMJ Open* 6, e010518, doi:10.1136/bmjopen-2015-010518.
- TAN SHX, SIM YF & HSU C-YS (2017) Difference in Striae Periodicity of Heilongjiang and Singaporean Chinese Teeth. *Front. Physiol.* 8, 442, doi: 10.3389/fphys.2017.00442.
- WALKER A (1996) *Homo erectus* / *Homo ergaster* – Alter: etwa 1,5 bis 1 Millionen Jahre. In: AIELLO L & BENNIKE P (Hrsg.) *4 Millionen Jahre Mensch. Das einzigartige Schauspiel der Menschheitsgeschichte*. United Exhibits Group, S. 81.
- WALKER KK, WALKER CS, GOODALL J & PUSEY AE (2018) Maturation is prolonged and variable in female chimpanzees. *J. Hum. Evol.* 114, 131–140, <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2017.10.010>.