

Fachvorstellung: Kognitive Ökologie. Wie entsteht Intelligenz in der Natur?

Adolf Heschl

Das seit etwa 40 Jahren bestehende Forschungsgebiet der kognitiven Ökologie (*cognitive ecology*) versteht sich heute als ein Teilgebiet der Verhaltensökologie (*behavioral ecology*) mit Schwerpunkt auf der Evolution kognitiver Fähigkeiten bei Tier und Mensch. Obwohl das Thema Intelligenz und Umwelt von Anbeginn evolutionärer Betrachtungen des Verhaltens von Tieren immer wieder behandelt wurde, fehlt bis heute eine umfassende Theorie der kognitiven Evolution. Die kognitive Ökologie versucht diese Lücke im großen Theoriengebäude der biologischen Evolution zu schließen, indem sie nach allgemein gültigen Faktoren Ausschau hält, die das Entstehen intelligenter Lebewesen erklärt. Dabei werden zwei große Einflussbereiche unterschieden. Einerseits übt die Umwelt eines Tieres einen mehr oder minder starken Selektionsdruck auf die Entwicklung intelligenten Verhaltens aus und andererseits ist es die Sozialstruktur der jeweiligen Spezies, die ebenfalls fördernd oder hemmend auf die Entstehung höherer kognitiver Leistungen Einfluss nehmen kann. Welcher Bereich dabei der entscheidendere ist, wird bis heute kontrovers diskutiert (siehe Powell et al. 2017). So gibt es auf der einen Seite Vertreter der klassischen Ökologietheorie und, auf der anderen, Anhänger der auf dem Vormarsch befindlichen These von der sozialen Intelligenz (*social brain hypothesis*), die einander zum Teil feindlich gegenüberstehen.

Wichtige Pionierarbeiten auf ersterem Gebiet stammen von der Primatologin Katherine Milton (1981), die als eine der ersten das Verhalten und die Intelligenz von blattfressenden und fruchtfressenden Neuweltaffen miteinander verglich und dabei zu dem Schluss kam, dass letztere deswegen ein deutlich größeres Gehirn besitzen, weil die Suche nach verstreut vorkommenden Früchten eine für die Tiere weitaus schwierigere Aufgabe darstellt als das bloße Abäsen von vergleichsweise nährstoffarmen, aber dafür gleichmäßig im Lebensraum verteilten Blättern eines tropischen Regenwaldes. Früchte stellen zudem denjenigen Tierarten, welche sich davon ernähren, wertvolle Ressourcen zur Verfügung, die es ihnen erlauben, ein dementsprechend größeres Gehirn zu entwickeln, als dies bloße Blattfresser tun. Auf diese Weise kommt es zu einem positiven Rückkoppelungseffekt zwischen intelligenter Nahrungssuche und daraus resultierendem energetischen Output. Dabei ist davon auszugehen, dass es eine enge Wechselbeziehung bzw. Koevolution zwischen fruchtetragenden Pflanzen und den sich zur selben Zeit entwickelnden Primaten gab, die diesen Prozess beschleunigte. Neben den Primaten konkurrierten auch die zeitgleich sich im tropischen Regenwald etablierenden Vögel um die neu entstandene Ressource, wodurch auch bei diesen ein ähnlicher Unterschied zwischen weniger intelligenten Blatt- und Körnerfressern (z.B. Hoatzin, Hühnervögel) und schlaueren Früchte- und Allesfressern (z.B. Papageien, Rabenvögel) entstand. Dass Primaten und Vögel dabei einander nicht immer friedlich gegenüberstanden, zeigt sich noch heute an der verbreiteten Praxis vieler Affen, Vögel als Futterkonkurrenten zu be-

trachten und sie deswegen so gut wie nur möglich aus der Nähe von Früchten fern zu halten. Dies kann bei den im südostasiatischen Regenwald lebenden Gibbons sogar so weit gehen, dass diese gezielt Jagd auf fruchtfressende Vögel machen.

Ein weiterer Ansatz in der sich entwickelnden ökologischen Intelligenzforschung beschäftigte sich mit der evolutionären Beziehung zwischen Beutetieren und Fressfeinden. Da eine erfolglose Jagd für einen Räuber nicht viel mehr als eine entgangene Mahlzeit ist, für das Beutetier aber das nackte Überleben bedeutet, sollte es für gejagte Tiere wichtiger sein als für jagende Tiere, schlauer zu sein als der andere. Interessanterweise ist aber das genaue Gegenteil der Fall, da viele Raubtiere (Katzen, Bären, Hundartige, Marder) im Vergleich zu ihren Beutetieren (Huftiere, Nagetiere, Hühnervögel), bezogen auf die Körpergröße, meist größere Gehirne besitzen als diese. Auch hier spielt das Verhältnis zwischen Aufwand und Gewinn eine entscheidende Rolle. Ist die nährstoffbezogene Belohnung für ihr intelligentes Suchverhalten bei Früchtefressern schon beachtlich, so erhöht sich diese bei Fleischfressern noch um ein Vielfaches. Dies könnte letztlich erklären, wieso Raubtiere es sich auch leisten können, nicht gleich jedes Beutetier erwischen zu müssen und dennoch ein energetisch aufwändigeres Gehirn zu besitzen als ihre Beute.

Der soziale Ansatz in der evolutionären Kognitionsforschung geht hingegen davon aus, dass eine erhöhte Intelligenz in erster Linie da entsteht, wo Arten komplexe Sozialsysteme entwickeln, in denen ein entsprechend starker Konkurrenzdruck zwischen den einzelnen Gruppenmitgliedern herrscht. Diese These wurde erstmals von Nicholas Humphrey 1976 in einem Essay mit dem Titel *The social function of intellect* formuliert, in welchem er die Idee einer machiavellischen Intelligenz skizzierte, die darin besteht, durch Nachahmen und Einfühlen, aber zugleich auch durch Tarnen und Täuschen den oder die Artgenossen je nach gegebener Motivation zu unterstützen oder auszutricksen. Diese Idee wurde etwas später von Frans de Waal in seinem einflussreichen Buch *Chimpanzee Politics: Power and Sex Among Apes* von 1982 weiter ausformuliert. In der Folge entwickelte sich daraus eine eigene Forschungsrichtung, die den engeren Zusammenhang zwischen Gruppengröße und Hirngröße bei Primaten untersuchte. Tatsächlich ergab sich auch ein solcher, jedoch nur jeweils innerhalb der Gruppe der Halbaffen, Affen und Menschenaffen, aber nicht für die Primaten als Gesamtheit. So lebt ein Lemur wie der madagassische Katta zwar in größeren, von den dominanten Weibchen angeführten Gruppen, ist aber deswegen trotzdem noch lange nicht so intelligent wie der die meiste Zeit über einzelläufig lebende Orang-Utan.

Beide Ansätze in der kognitiven Ökologie, der primär ökologische wie auch der soziale, stehen aber vor einem gemeinsamen Dilemma und dies ist die bemerkenswert heterogene Verteilung von Intelligenz im Tierreich. So sind nicht alle Früchtefresser unter den Primaten zugleich auch besonders intelligent (siehe Lemuren) und auch manch erfolgreiche Raubtiere (siehe Haie, Warane) praktizieren eher einfache, instinktgesteuerte Jagdstrategien. Hinzu kommt die paradoxe Beobachtung, dass ein besonders starker Überlebensdruck vonseiten der Umwelt intelligentes Verhalten eher zu unterdrücken scheint als zu fördern. Dies widerspricht in sehr direkter Weise Charles Darwins Grundidee eines Überlebens der Bestangepassten (*survival of the fittest*). So zeigen die Muttertiere vieler Spezies in Stresssituationen oft nicht

sehr taugliche Verhaltensweisen, um ihre Jungtiere vor gefährlichen Situationen zu schützen oder diese, wenn eine Bedrohung bereits vorliegt, daraus zu retten. Diese auffallende Unangepasstheit tierischen Verhaltens macht sich dem menschlichen Beobachter in vielen Fällen dadurch bemerkbar, dass Menschen in ähnlichen Situationen ganz andere, nämlich deutlich intelligentere Strategien anwenden würden, um das jeweilige Problem zu lösen. Diese und andere Beobachtungen haben dazu geführt, dass der Autor einen Ansatz entwickelt hat, der Darwins Evolutionstheorie gleichsam auf den Kopf stellt. Darin führt nicht ein besonders starker sozialer oder ökologischer Selektionsdruck dazu, dass sich intelligentes Verhalten entwickelt, sondern das genaue Gegenteil davon in Form von möglichst entspannten Lebensumständen (*relaxed selection*, siehe Heschl 2020).

Die Stammesgeschichte des Menschen als sich selbst verstärkende kognitive Evolution

Adolf Heschl

Zusammenfassung

Der Einsatz intelligenten Verhaltens setzt voraus, dass Lebewesen über genug Zeit und Energie verfügen, um sich der Lösung eines Problems mit nichtinstinktiven, flexiblen Strategien zu widmen. Dazu gehört auch der Schutz vor Störungen aller Art, von aggressiven Artgenossen bis hin zu gefährlichen Fressfeinden. Derartige Bedingungen sind in der Natur selten, was die heterogene Verbreitung von Intelligenz im Tierreich erklärt. Die Entwicklung höherer kognitiver Fähigkeiten wie Selbstbewusstsein und Kausalverständnis erfordert darüber hinaus eine verlängerte und geschützte Jugendentwicklung. Trifft all dies zu, so kann es zu einer sich selbst verstärkenden Evolution von Intelligenz kommen, die beim Menschen in einer regelrechten „*kognitiven Explosion*“ mündete.

1. Ein Meteorit als kosmischer Helfer

Die Geschichte der Primaten ist eine Geschichte der Emanzipation einer in vieler Hinsicht besonderen Tiergruppe von den Zwängen einer meist harten natürlichen Selektion. Schon als noch kleine und hörnchenartig aussehende, nachtaktive Säugetiere versuchten die Urahnen der heutigen „Herrentiere“, wie sie früher noch genannt wurden, dem wachsenden Räuberdruck auf dem Boden zu entgehen, indem sie sich bereits zur Zeit ihrer Entstehung vor ca. 66 Millionen Jahren, kurz nach der globalen Zäsur des KT-Impakts, für ein dauerhaftes Leben in den Baumkronen der tropischen Regenwälder entschieden (Lee 1999). Der Einschlag eines etwa 14 km großen Asteroiden im Gebiet des heutigen Golfs von Mexiko hatte am Übergang von der Kreide (K) zum Tertiär (T) das Aussterben der Dinosaurier eingeleitet, welche bis zu diesem Moment bereits über 150 Jahrmillionen hinweg jede größere Entfaltung der Säugetiere blockierten. Die engsten Verwandten der Primaten zu dieser Zeit waren jedoch nicht, wie lange geglaubt, die Spitzhörnchen (*Scandentia*), sondern die noch heute mit zwei Vertretern in Südostasien existierenden Riesengleiter (*Dermoptera*), etwa katzensgroße Tiere, die ähnlich wie die deutlich kleineren Flughörnchen Eurasiens mit zwischen den Extremitäten aufgespannten Flughäuten von Baum zu Baum gleiten.

2. Baumleben und Folgen

In den Bäumen leben nur wenige große Tiere und das hat auch seinen triftigen Grund. Zwar klettern einige moderne Raubtiere wie Katzen und Bären gelegentlich Stämme hoch, um dort nach Beute Ausschau zu halten, aber kaum ein größeres

Tier hält sich permanent im Geäst eines Baumes auf. Dies hat einfach damit zu tun, dass die kletternde Fortbewegungsweise mit einem gewissen Risiko verbunden ist abzustürzen und ein Sturz aus großer Höhe für schwere Tiere gefährlich ist. Darüber hinaus schränkt die Körpergröße aber auch den Wechsel von einem Baum zum nächsten ein, will man sich tatsächlich auf Dauer in den Baumkronen aufhalten, ohne immer wieder auf den Boden hinabsteigen zu müssen. Aus diesem Grund springt auch kein größeres Tier von Ast zu Ast, außer – es ist ein Primate. Anders als ihre nächsten Verwandten unter den Säugetieren, die Riesengleiter, versuchten sie es nicht mit der auch bei anderen Wirbeltiergruppen (Schlangen, Echsen) entstandenen Gleitmethode, sondern wagten sich tatsächlich als erste größere Tiere an den gezielten Sprung von Ast zu Ast. Zwar waren auch die allerersten Primatenspezies wie etwa *Purgatorius*, *Archicebus* und *Teilhardina* allesamt noch eher klein mit einem Gewicht von 30 – 60 Gramm (Dagosto et al. 2018), aber spätestens mit der fast vollständig erhaltenen fossilen Spezies *Darwinius*, die vor ca. 47 Millionen Jahren in Europa (Messel) lebte, gab es einen immerhin bis zu 900 g schweren Vertreter, der als erstes Tier der Welt echte Greifhände und Greiffüße mit Nägeln statt Krallen besaß (Franzen et al. 2009).

Die flachen Nägel auf den Fingern und Zehen hatten dabei die wichtige Funktion, einen entsprechenden Druck auf das Substrat auszuüben, auf dem das Tier sich bewegte, um nicht abzurutschen. Damit einher ging die Entwicklung eines opponierbaren Daumens sowie einer großen Zehe, die beim Umklammern von Ästen und Zweigen den erforderlichen Gegendruck erzeugten. Auf diese Weise eroberten die Primaten einen Lebensraum mitsamt den darin enthaltenen Ressourcen, der für die meisten terrestrischen Wirbeltiere bis zu diesem Zeitpunkt völlig unzugänglich war. Zu diesen Ressourcen gehörten in erster Linie die Blüten, Früchte und Samen der bedecktsamigen Pflanzen (Angiospermen), die bis dahin für ihre Fortpflanzung und Verbreitung hauptsächlich auf nektarsammelnde sowie Früchte- und samenfressende Vögel, Fledermäuse und Insekten angewiesen waren (Sussman 1991). So geht man heute davon aus, dass es insbesondere die Blätter, Früchte und Samen der sich vor ca. 60 Millionen Jahren ausbreitenden, baumartigen Blütenpflanzen waren und nicht etwa Beutetiere, die die Vorfahren der heutigen Primaten in die obersten Regionen der Baumkronen lockten (Silcox & Sergi Lopez-Torres 2017). Um sich hier einigermaßen sicher und gefahrlos bewegen zu können, war jedoch ein möglichst präziser Zugriff mit Händen und Füßen notwendig. Zu diesem Zweck wanderten die Augen von ihrer seitlichen Position am Kopf nach vorne hin zur Mitte, um damit den Tieren mittels binokularer Fixierung eine exaktere Lokalisation des Ortes für den nächsten Sprung bzw. Zugriff zu ermöglichen (Szalay & Dagosto 1980). Ansonsten eher für Raubtiere typisch, stand die binokulare Vision bei den Primaten somit zunächst primär im Dienst der Fortbewegung, bevor sie später bei einigen Arten (Loris, Koboldmakis) auch zur Jagd auf Insekten eingesetzt wurde.

Der Übergang von einer ursprünglich terrestrischen oder gar, während der langen Zeit der Dominanz der Dinosaurier, unterirdischen Lebensweise zu einem obligaten Baumleben führte schon bei den frühen Primaten zu einer Zunahme ihrer relativen Hirnmasse, in ganz ähnlicher Weise, wie das heute noch bei einigen anderen Säugetierfamilien wie beispielsweise den Hörnchen festgestellt werden kann, wenn

man bodenlebende mit baumlebenden Arten vergleicht (Meier 1983). Darüber hinaus hatten die ersten echten Primaten aber auch bereits Gehirne, die größer als die anderer baumlebender Tiere waren, was mit einer überdurchschnittlichen Vergrößerung der visuellen Zentren des ZNS in Zusammenhang gebracht wird. Eine derartige Vergrößerung lässt sich indirekt auch im Sinne einer verbesserten Kognition interpretieren, da der Sehsinn von allen Sinnesmodalitäten jener besondere Fernsinn ist, der es durch die hohe Geschwindigkeit des Lichtes Tieren am ehesten erlaubt, Probleme bereits aus einer gewissen Distanz heraus zu betrachten und, wenn möglich, schon vorausschauend zu lösen. Damit beugt das sehbegabte Tier zugleich überreilten Instinktreaktionen vor, die meist durch andere, direktere Sinnesmodalitäten wie Geschmack, Berührung oder Schmerz ausgelöst werden. So nimmt es nicht wunder, wenn ein Großteil der Expansion des Gehirns in der Primatenlinie bis hin zum Menschen mit der Vergrößerung primär visueller sowie visuell-assoziativer Areale ident ist (Kirk 2006).

Alles das setzt aber natürlich Tageslicht voraus, da während der Nacht der Sehsinn stark eingeschränkt ist. Bei jenen Feuchtnasennaffen (*Strepsirrhini*), die wie die ersten Primaten vor 66 Millionen Jahren nachtaktiv geblieben sind, macht sich diese Einschränkung noch heute deutlich bemerkbar. Sie bewegen sich entweder stereotyp von Stamm zu Stamm hüpfend (Galagos, Koboldmakis¹) oder ganz langsam (Loris oder „Faulaffen“) durchs Geäst und zeigen auch sonst nicht jene Flexibilität im Verhalten, wie sie für tagaktive Spezies charakteristisch ist. Zwar haben manche nachtaktiven Lemuren insgesamt ein größeres Gehirn für die Verarbeitung des sensorischen Inputs aus ihren oft riesigen Augen (MacLean et al. 2009, Wong and Kaas 2010), aber dafür besitzen die tagaktiven Arten den weitaus größeren assoziativen Cortex, der Eingänge aus verschiedenen Sinneskanälen miteinander kombiniert und in flexibler Weise zu motorischen Signalen umwandelt.

3. Visuelle Verhaltenskontrolle als Motor der kognitiven Entwicklung

Trotz der kognitiven Unterschiede zu gleich großen, aber nicht baumlebenden Säugetieren, beobachtbar beispielsweise am impliziten Sequenzlernen und Mengenverständnis (Merritt et al. 2011, Drucker et al. 2016), zählen die tagaktiven Lemuren nicht zu den intelligentesten Primaten. Was ihnen dazu unter anderem noch fehlt, ist die visuelle Kontrolle der eigenen Handbewegungen, so wie dies nur die echten Affen können. Diese wird schon früh in der Jugendentwicklung von Affenkindern erworben, indem die Tiere während einer kritischen Phase ihre visuelle Aufmerksamkeit auf die Bewegungen der eigenen Hände lenken. Das Resultat ist der sogenannte „Präzisionsgriff“, mit dem Objekte in einer Weise gezielt manipuliert werden können, wie es allein durch die rein kinästhetische, über innere Druck- und Spannungssensoren vermittelte Kontrolle von Handbewegungen nicht möglich wäre. Auch noch bei jedem Kleinkind lässt sich dieser wichtige Entwicklungsschritt in der frühen Ontogenese in allen Details beobachten und dies immer dann, wenn

¹ Koboldmakis werden heute, obwohl mit ihren riesigen Augen eher urtümlich wirkend, zu den Trockennasennaffen (Haplorrhini) gezählt, zu denen auch die echten Affen einschließlich des Menschen gehören.

das Kind beginnt, seine eigene Hand mit den Augen zu fixieren, und versucht, deren Bewegungen bewusst zu steuern. Das Ergebnis dieses Entwicklungsschrittes ist ein erstes, wenn auch noch begrenztes Bewusstwerden der eigenen „Handlungen“ als Tätigkeiten der Hände und zugleich ein tieferes Verständnis von Objekten der Umwelt im Sinne von deren dauerhafter Permanenz trotz sich kontinuierlich verändernder visueller Perspektiven.

4. Die Bedeutung einer raubtierfreien Umwelt

Der große Sprung in die Sphären höherer Kognition gelang somit erst den Trocken-nasenaffen. Zwar noch nicht den schrullig wirkenden Koboldmakis, die sich mit ihren großen Glubschaugen erfolgreich auf die nächtliche Jagd nach Insekten spezialisierten, aber dafür dem ersten Vertreter der echten Affen (*Anthropoidea*). Leider ist dessen evolutionärer Ursprung bis heute ein Rätsel geblieben. Sehr wahrscheinlich ist zumindest ein nichtafrikanischer, asiatischer Ursprung, viel mehr aber auch nicht (Jaeger et al. 2019). Geht man nun davon aus, dass die heutigen Koboldmakis als die nächsten stammesgeschichtlichen Verwandten der Affen in Asien hauptsächlich auf Inseln vorkommen, so ist es durchaus denkbar, dass der erste moderne Affe ebenfalls auf einer einsamen Insel das Licht der Welt erblickte. Diese Insel müsste allerdings frei von potentiellen Fressfeinden des erst im Entstehen begriffenen Primaten gewesen sein, d.h. frei von baumlebenden Schleichkatzen, Schlangen und Waranen bis hin zu Greifvögeln und Eulen, die allesamt noch heute intensiv Jagd auf Koboldmakis machen und diese dadurch wahrscheinlich schon vor Millionen von Jahren sekundär – ihre Vorfahren waren nachweislich bereits tagaktiv (Joffe et al. 2014) – wieder in die Nachtaktivität getrieben haben.

Es ist gut möglich, dass dieser erste echte Affe ein den heutigen Krallenaffen ähnelnder kleiner Primat war, der – anders als die mit ihm nahe verwandten Koboldmakis – das Glück hatte, sich auf einer zufälligerweise raubtierfreien Insel vor der asiatischen Küste oder einem vergleichbar geschützten Lebensraum im Inneren des Kontinents entfalten zu dürfen. Die fossile Gattung *Eosimias* kommt diesem hypothetischen Vorfahren der modernen *Anthropoidea* einschließlich des Menschen am nächsten (Jaeger et al. 1999, Beard and Wang 2004). Von ihr aus entwickelten sich nacheinander mindestens zwei voneinander getrennte evolutionäre Linien, die zu den beiden großen Affengruppen der heutigen Welt führten, den Neuweltaffen und den Altweltaffen. Während der Ursprung der neuweltlichen Breitnasenaffen (*Platyrrhini*) aber noch weitgehend im Dunkeln liegt, kann für die meist deutlich größeren Schmalnasenaffen (*Catarrhini*) der Alten Welt das wahrscheinliche geographische Areal ihrer Entstehung zumindest eingegrenzt werden (Jaeger et al. 1998). Die erste fossile Spezies, die eine deutlich verkürzte Schnauze – das phänotypisch markanteste Merkmal aller modernen Affen – trug, war *Siamopithecus eocaenus* und diese lebte an einem Abschnitt der thailändischen Küste (Krabi), der noch heute von einer Vielzahl an dem Festland vorgelagerten Inseln ohne größere Raubtiere charakterisiert ist.

5. Affenartige Fortschritte

Die Entwicklung einer präzisen Hand/Auge-Koordination durch die ersten Affen legte den Grundstein für eine ganze Reihe von kognitiven Fortschritten. Affen manipulieren Objekte in ganz ähnlicher Weise, wie wir Menschen dies tun. Sie nehmen sie in die Hand, drehen sie hin und her und versuchen, durch unterschiedlichste Handlungen ihre speziellen Eigenschaften zu erforschen, von ihrer Eignung als Nahrungsmittel über den Einsatz als Wurfgeschoss bis hin zum Werkzeuggebrauch. Dabei entsteht schon bei den Jungtieren das, was Jean Piaget bei Menschenkindern sehr treffend als „Objektpermanenz“ beschrieben hat (Piaget 1962), welche sich darin äußert, dass das Kind bzw. der junge Affe auch noch nach Dingen sucht, deren Anblick teilweise verdeckt ist oder die sogar ganz aus dem Gesichtsfeld verschwunden sind (Kramer et al. 1975, Furth 1987). Die auf diese Weise entstandene sensomotorische Intelligenz machte den Affen als erstes Säugetier der Erde zu einem reflexiven „Betrachter“ von Dingen, während die meisten anderen Wirbeltiere einschließlich der primitiveren Halbaffen (*Strepsirrhini*, Feuchtnasenprimaten) bis heute bloße „Seher“ von Objekten geblieben sind, mit einer immer noch deutlich stärkeren Fokussierung auf die phylogenetisch älteren Sinne von Geruch, Tastsinn und Geschmack. Die erstmalige Manipulation von Objekten mithilfe der visuell gesteuerten Hände reduzierte zudem den notwendigen Einsatz der Zähne im Umgang mit den Dingen, was über kurz oder lang zu der bereits erwähnten charakteristischen Verkürzung der Schnauze führte. Je intensiver also die Objektmanipulation mit den Händen wurde, umso kürzer konnte auch das Maul der Tiere werden [siehe Verhältnis von Gesichtslänge zu Gesichtshöhe innerhalb der *Anthropoidea* (Benefit and McCrossin 1997)], bis letztlich hin zum Menschen, wo „Maul“ und Zähne im Vergleich zum Gebiss der meisten anderen Primaten extrem verkürzt bzw. reduziert worden sind (und noch weiter werden).

Der Erwerb der visuellen Kontrolle über die Bewegungen der eigenen Hände ermöglichte den Affen auch einen noch nie dagewesenen kognitiven Sprung vorwärts in Richtung auf eine erstmals präzise Weitergabe von neuen Verhaltensweisen an andere Artgenossen, allen voran an den eigenen Nachwuchs. Zur Kontrolle der Handbewegungen entstanden zunächst eigene Neuronen, sogenannte „kanonische Neuronen“, im ventralen prämotorischen Cortex des Gehirns, die sich speziell dieser Aufgabe widmeten. Diese reagieren mit Entladungen sowohl während der Ausführung einer Handbewegung wie auch bei der Präsentation eines 3-dimensionalen Objektes. Dabei zeigen sie zuvor während der frühkindlichen Entwicklung erworbene sensomotorische Überlagerungen an zwischen der Art der Handlung (z.B. Präzisionsgriff mit Daumen und Zeigefinger) und den physikalischen Eigenschaften des wahrgenommenen Objektes (z.B. kleiner Gegenstand) (Rizzolatti & Umiltà 2013). Damit sieht der Affe Dinge in der Umwelt und zugleich die Manipulationen, die er selbst mithilfe seiner Hände mit diesen ausführt bzw. auszuführen in der Lage ist (Sakata et al. 1997). Dies wiederum eröffnet ihm unter Mitwirkung sogenannter „Spiegelneuronen“, welche evolutionär aus einem Set zuvor verdoppelter kanonischer Neuronen hervorgegangen sind, die unter Wirbeltieren völlig neuartige Möglichkeit, bei Artgenossen gesehene Handlungen gleichsam rückzuübersetzen in die

eigene neuronale Verhaltenskodierung und auf diese Weise nachzuzahlen (Bonini et al. 2014, Bonini 2017). Dazu bedarf es bloß einer annähernd vergleichbaren visuellen Perspektive, um Verzerrungen weitgehend auszuschließen. Genau diese Situation ist aber in optimaler Weise gegeben, wenn ein Jungtier beispielsweise im Schoß seiner Mutter sitzt und ihr aus mehr oder weniger demselben optischen Blickwinkel bei ihren diversen Tätigkeiten zusehen kann.

Affen sind somit in der Lage, zumindest innerhalb des begrenzten Verhaltensrepertoires ihrer Hände eine Art präkulturelle Tradition zu etablieren, die den Erwerb neuer Fähigkeiten – einschließlich von zum Teil beeindruckendem Werkzeuggebrauch – um ein Vielfaches beschleunigen kann. Dabei erfolgt der Transfer der beobachteten Handlungen aufgrund der perspektivischen Einschränkung in der Regel vertikal, d.h. von der Mutter auf das Kind und von diesem weiter auf die nächste Generation und nur selten auf der horizontalen Ebene zwischen Erwachsenen, außer es liegen der Mutter/Kind-Beziehung ähnliche, enge persönliche Beziehungen zwischen den adulten Tieren einer Spezies vor (Perry & Manson 2003). Auch die Tradierung von Werkzeuggebrauch ist dabei möglich. Um ein Objekt zu einem Werkzeug werden zu lassen, braucht das Tier nämlich bloß seine haptischen Wahrnehmungen bei dessen Ergreifen in jene Teile des Objektes gleichsam virtuell einwandern lassen, die – von den Augen geführt – ein anderes Objekt berühren. Damit erweitert der Organismus seine propriozeptive Wahrnehmung so, als wäre das ergriffene Werkzeug ein Teil seines Körpers (Bahmad et al. 2020). Die enormen Vorteile eines derartigen Verhaltens zeigen sich darin, dass damit Dinge plötzlich getan werden können, die ansonsten unmöglich (z.B. Angeln nach einem Objekt außer Reichweite) oder zu gefährlich wären (z.B. ins Feuer greifen).

Trotz seiner offensichtlichen Nützlichkeit für das Überleben der Tiere findet man in der freien Natur nur selten Affen, die regelmäßig Objekte als Werkzeuge verwenden, obwohl dies grundsätzlich im Rahmen ihrer Möglichkeiten liegt, wie handaufgezogene Tiere zeigen (Iriki 2006, Matsunaga et al. 2015). Dies hat zunächst damit zu tun, dass ein effizienter Werkzeuggebrauch meist nur am Boden möglich ist, wo im Gegensatz zur Situation in einer Baumkrone die Unterlage stabil ist und in ausreichender Menge geeignetes Material wie diverse Stöcke und Steine vorhanden ist. Gerade am Boden gibt es aber auch die meisten Raubtiere, die durch ihr nicht vorhersehbares Auftauchen ihre Beutetiere daran hindern, sich auf die Entwicklung und Verwendung eines Werkzeuges konzentrieren zu können. Aus diesem Grund gibt es weltweit nur wenige Orte, wo Primaten regelmäßig und dafür aber zum Teil schon seit Tausenden von Jahren (Proffitt, Arroyo & Haslam 2017, Falotico et al. 2019) ihrer Tätigkeit als Nutzer von einfachen Steinwerkzeugen nachgehen. Der isolierte Regenwald im Tai-Nationalpark in Westafrika (Schimpansen) (Boesch et al. 2017), die weitläufigen Felslandschaften im Nordosten von Brasilien (Kapuzineraffen) (Visalberghi 1990) und zwei unberührte Inseln des Laem Son Nationalparks vor der Südküste Thailands (Javaneraffen) (Malaivijitnond et al. 2007) sind einige Beispiele dafür. Allen gemein ist das Vorhandensein von wichtigen technischen Ressourcen (Steine, Stöcke, etc.) sowie das weitgehende Fehlen von Raubtieren und anderen Störfaktoren.

6. Die Entdeckung des „Ich“ durch die Menschenaffen

Auch wenn schon Affen eine beeindruckende technische und soziale Intelligenz aufweisen, so verstehen sie doch noch nicht die Dinge der Welt so, wie heutige Menschen dies tun, nämlich als kausale Abläufe mit angebbarer Ursache und daraus resultierender Wirkung (Visalberghi and Limongelli 1994). Diese Fähigkeit entwickelte sich erst mit den Menschenaffen, die als eine der wenigen Tiere in der Lage sind, sich im Spiegel zu erkennen (Gallup 1970). Schon die „kleinen“ Menschenaffen oder Gibbons sind dazu fähig und dies als Folge einer Fortbewegung, die als Brachiation oder Hangeln beschrieben wird (Heschl & Fuchsbichler 2009). Dabei bewegt sich das Tier an seinen langen Armen hängend von Ast zu Ast, was zu einer Streckung bzw. Aufrichtung des Körpers führt, die sich am Boden als aufrechtes Gehen auf zwei Beinen äußert. Das Besondere an dieser neuartigen Art der Fortbewegung ist nun, dass die Augen des Tieres fast den gesamten Körper im Blickfeld haben, wodurch erstmals eine bewusste visuelle Steuerung desselben möglich wird. Findet sich dann ein Menschenaffe vor dem Spiegel wieder, so erkennt er seinen Körper nach etwas Gewöhnung an die nicht ganz alltägliche Situation² dadurch, dass er bemerkt, dass der zunächst noch „fremde Artgenosse“ im Spiegel in genau derselben Weise den Befehlen seiner Bewegungskommandos folgt wie sein eigener Körper während der hangelnden Fortbewegung durch das Geäst eines Baumes. Beschäftigt er sich dann aus reiner Neugier heraus mit seinem Aussehen noch etwas näher, was die sexuell aktiven Bonobos sehr, die trägeren Gorillas aber weit weniger intensiv praktizieren, so versetzt ihn das schließlich in die Lage, schon eine geringfügige optische Veränderung in seinem Gesicht, z.B. ein unmerklich angebrachter Farbkleck, als störende Abweichung bzw. unattraktive „Verunstaltung“ zu erkennen und darauf zu reagieren (Parker, Mitchell & Boccia 1994).

Die durch das Hangeln erworbene visuelle Steuerung des eigenen Körpers führte somit dazu, dass erstmals Primaten mit einer beginnenden Art von bewusster Ich-Vorstellung entstanden. Alles, was sie taten, wurde von nun an von einer zentralen Instanz genannt „Ich“ im Gehirn gesteuert bzw. verursacht (Allman et al. 2010), womit zugleich auch die Ursache als neuartige kognitive Kategorie, die in der Lage ist Dinge aktiv zu bewegen, in die Welt kam. So sucht ein Menschenaffe, der ein Objekt wahrnimmt, das sich bewegt, gezielt nach der Ursache der Veränderung (Albiach-Serrano et al. 2015), was jedem technisch noch so begabten Kapuzineraffen verwehrt bleibt (Visalberghi and Limongelli 1994). Als schließlich die ersten Menschenaffen von den Bäumen stiegen, mussten sie folglich den aufrechten Gang nicht neu erfinden, sondern bloß nur mehr adaptieren an eine nicht mehr von Ästen gestützte Fortbewegung auf dem Boden. An diesem Punkt der Evolution angelangt ergab sich jedoch für unsere Vorfahren das vielleicht mit Abstand größte Hindernis für eine kognitive Weiterentwicklung. Zwar gab und gibt es am Boden Material und Gelegenheiten für technische Erfindungen in Hülle und Fülle, aber die vergleichsweise langsame Fortbewegung auf zwei Beinen machte die ersten Menschen anfällig für eine Reihe von gefährlichen Raubtieren (Raubkatzen, große Greifvögel) (Hart & Sussman 2005). So ist auch zu erklären, wieso es von *Sahelanthropus* an, einem der

2 Es gibt in der freien Natur keine vertikalen Strukturen, die Licht in ähnlicher Weise spiegeln, wie dies eine horizontale Wasserfläche tut.

ersten permanent aufrecht gehenden Menschenartigen aus dem heutigen Tschad, bis hin zum ersten Vertreter der Gattung *Homo* mehr als 4 Millionen Jahre hindurch keine wesentliche Vergrößerung des Hirnvolumens gab (Miller et al. 2019), weil große Raubtiere dies zu verhindern wussten. Die so oft erzählte Geschichte von einem hoch motivierten „Urahn“, der sich – von den Bäumen als Vierbeiner herabsteigend – auf seinen zwei Beinen aufrichtete und mit erhobenem Haupt die Welt mit seiner außergewöhnlichen Weitsicht und Intelligenz eroberte, ist somit eine attraktive, aber völlig unzutreffende Beschreibung unserer Evolution. Wie schwer die Eroberung des offenen Graslandes tatsächlich ist, zeigen noch heute Schimpanse und Gorilla, die es beide trotz beeindruckender Aggressivität (Schimpanse) und Körpergröße (Gorilla) nicht geschafft haben, sich im neuen Biotop zu behaupten, sondern stattdessen mit der sekundären Entwicklung des Knöchelganges (Simpson et al. 2018) wieder den schnellen vierbeinigen Rückzug in den Schutz des nahen Waldes antraten.

Das Gehirn unserer menschenaffenartigen Vorfahren begann erst dann stärker zu wachsen, als die Bedrohung durch Raubfeinde mittels irgendeiner Art von Waffe erfolgreich abgewehrt werden konnte. Ein mithilfe eines flachen Steines zugespitzter Stock konnte vielleicht schon die Wende einleiten. Sobald aber einmal der Feind zuverlässig in Schach gehalten werden konnte, wurde es auch möglich, den Spieß gleichsam umzudrehen und nun seinerseits als hochintelligenter „Raubaffe“ auf die Jagd zu gehen (Pickering and Bunn 2007). Von da an gab es kein Halten mehr. Zunächst noch eine Zeit lang als schwächlicher Opportunist ein gerade noch geduldeter Scavenger oder „Mitesser“ am reichlich gedeckten Tisch der afrikanischen Savanne, avancierten unsere *Homo*-Ahnen im Laufe der Zeit zu immer einflussreicheren Managern des Tierlebens auf dem schwarzen Kontinent. Steinwerkzeuge boomten, das Feuer wurde dem Blitz entwendet und schließlich begann man, sich die Jagdbeute lebend mit ins befestigte Lager zu holen und es dort gleich selbst zu züchten. Zeitgleich mit der ersten Domestikation von Haustieren vor etwa 11.000 Jahren (McHugo et al. 2019) begann man schließlich auch damit, sich verstärkt um Futterpflanzen in Form verschiedener Gräser zu kümmern, bis man bemerkte, dass deren Körner auch für uns selbst einen beachtlichen Energiewert besaßen. Die höchst erfolgreiche Kombination von Ackerbau und Viehzucht war damit geboren und das Tempo der Entwicklung legte weiter zu. Von da an machte sich der Mensch tatsächlich, wie ihm letztendlich sogar in einer heiligen Schrift aufgetragen (Dominium terrae. *Genesis* 1,28), die Erde untertan. Heute stehen wir mit einer immer rasanter ablaufenden Entwicklung von Wissenschaft und Technik inmitten einer wahren kognitiven Explosion, deren Ende nicht abzusehen ist. Diese ist aber nicht, wie so manch ein Fortschrittsskeptiker uns weismachen machen will, eine Entwicklung gegen unsere biologische Natur, sondern ganz im Gegenteil die völlig logische, wenn auch durch viele Zufälle über weite Strecken erratisch und oft stockend verlaufene Konsequenz aus nun schon 65 Millionen Jahren aufstrebender Intelligenz einer einst versteckt in unterirdischen Bauten lebenden Säugetiergruppe, die der gefährlichen Welt der Raubtiere durch das Erklettern von Bäumen entkommen wollte und dies – und vieles anderes mehr – letzten Endes auch höchst erfolgreich in die Tat umgesetzt hat.

Literatur

- Albiach-Serrano, A., et al. (2015). "Comparing humans and nonhuman great apes in the broken cloth problem: is their knowledge causal or perceptual?" *J. Exp. Child Psychol* 139: 174-189.
- Allman, J. M., et al. (2010). "The von Economo neurons in frontoinsular and anterior cingulate cortex in great apes and humans." *Brain Struct Funct* 214(5-6): 495-517.
- Bahmad, S., et al. (2020). "Online proprioception feeds plasticity of arm representation following tool-use in healthy aging." *Sci Rep* 10(1): 17275.
- Beard, K. C. and J. Wang (2004). "The eosimiid primates (Anthropoidea) of the Heti Formation, Yuanqu Basin, Shanxi and Henan Provinces, People's Republic of China." *J Hum Evol* 46(4): 401-432.
- Benefit, B. R. and M. L. McCrossin (1997). "Earliest known Old World monkey skull." *Nature* 388(6640): 368-371.
- Boesch, C., et al. (2017). "Technical intelligence and culture: Nut cracking in humans and chimpanzees." *Am J Phys Anthropol* 163(2): 339-355.
- Bonini, L. (2017). "The Extended Mirror Neuron Network: Anatomy, Origin, and Functions." *Neuroscientist* 23(1): 56-67.
- Bonini, L., et al. (2014). "Space-dependent representation of objects and other's action in monkey ventral premotor grasping neurons." *J Neurosci* 34(11): 4108-4119.
- Dagosto, M., et al. (2018). "Estimating body size in early primates: The case of *Archicebus* and *Teilhardina*." *J Hum Evol* 115: 8-19.
- De Waal, F. (1982). *Chimpanzee Politics: Power and Sex Among Apes*. New York: Harper & Row
- Drucker, C. B., et al. (2016). "Implicit sequence learning in ring-tailed lemurs (*Lemur catta*)." *J Exp Anal Behav* 105(1): 123-132.
- Falotico, T., et al. (2019). "Three thousand years of wild capuchin stone tool use." *Nat Ecol Evol* 3(7): 1034-1038.
- Franzen, J. L., et al. (2009). "Complete primate skeleton from the Middle Eocene of Messel in Germany: morphology and paleobiology." *PLoS One* 4(5): e5723.
- Furth, H. G. (1987). "Object permanence in five-month-old infants." *Cognition* 26(2): 187-190.
- Gallup, G. G. Jr. (1970). "Chimpanzees: self-recognition." *Science* 167(3914): 86-7.
- Hart, D. and R. Sussman (2005). "Man the Hunted: Primates, Predators, and Human Evolution." Westview Press, Boulder, CO.
- Heschl, A. (2020). *Jenseits von Darwin: Wie gelockerte Selektionsbedingungen die Evolution höherer Kognition fördern*. Sitzungsberichte der Gesellschaft Naturforschender Freunde zu Berlin. Band 54: 99-132.
- Heschl, A. and C. Fuchsichler (2009). "Siamangs (*Hylobates syndactylus*) Recognize their Mirror Image." *International Journal of Comparative Psychology* 22: 221-233.
- Humphrey, N. K. (1976). The social function of intellect. In P. P. G. Bateson & R. A. Hinde (Eds.), *Growing points in ethology*. Cambridge University Press.
- Iriki, A. (2006). "The neural origins and implications of imitation, mirror neurons and tool use." *Curr Opin Neurobiol* 16(6): 660-667.

- Jaeger, J., et al. (1999). "A new primate from the Middle Eocene of Myanmar and the Asian early origin of anthropoids." *Science* 286(5439): 528-530.
- Jaeger, J. J., et al. (2019). "New Eocene primate from Myanmar shares dental characters with African Eocene crown anthropoids." *Nat Commun* 10(1): 3531.
- Joffe, T. H. (1997). „Social pressures have selected for an extended juvenile period in primates." *Journal of Human Evolution* 32: 593-605.
- Kirk, E. C. (2006). "Visual influences on primate encephalization." *J Hum Evol* 51(1): 76-90.
- Kramer, J. A., et al. (1975). "Infants' development of object permanence: a refined methodology and new evidence of Piaget's hypothesized ordinality." *Child Dev* 46(1): 149-155.
- Lee, M. S. (1999). "Molecular clock calibrations and metazoan divergence dates." *J Mol Evol* 49(3): 385-391.
- MacLean, E. L., et al. (2009). "Sociality, ecology, and relative brain size in lemurs." *J Hum Evol* 56(5): 471-478.
- Malaivijitnond, S., et al. (2007). "Stone-tool usage by Thai long-tailed macaques (*Macaca fascicularis*)." *Am J Primatol* 69(2): 227-233.
- Matsunaga, E., et al. (2015). "Identification of tool use acquisition-associated genes in the primate neocortex." *Dev Growth Differ* 57(6): 484-495.
- McHugo, G. P., et al. (2019). "Unlocking the origins and biology of domestic animals using ancient DNA and paleogenomics." *BMC Biol* 17(1): 98.
- Meier, P. T. (1983). "Relative Brain Size within the North American Sciuridae." *Journal of Mammalogy* 64(4): 642-647.
- Merritt, D. J., et al. (2011). "Numerical rule-learning in ring-tailed lemurs (*lemur catta*)." *Front Psychol* 2: 23.
- Miller, I. F., et al. (2019). "Quantitative uniqueness of human brain evolution revealed through phylogenetic comparative analysis." *Elife* 8.
- Milton, K. (1981). Diversity of plant foods in tropical forests as a stimulus to mental development in primates. *American Anthropologist* 83:534-548.
- Parker, S. T., Mitchell, R. W. and M. L. Boccia (1994). *Self-awareness in Animals and Humans. Developmental Perspectives*. Cambridge (UK): Cambridge University Press.
- Perry, S. and J. H. Manson (2003). "Traditions in Monkeys." *Evolutionary Anthropology* 12: 71-81.
- Piaget, J. (1962). "The stages of the intellectual development of the child." *Bull Menninger Clin* 26: 120-128.
- Pickering, T. R. and H. T. Bunn (2007). "The endurance running hypothesis and hunting and scavenging in savanna-woodlands." *J Hum Evol* 53(4): 434-438.
- Powell, L. E., et al. (2017). "Re-evaluating the link between brain size and behavioural ecology in primates." *Proc Biol Sci* 284(1Proffitt, T., et al. (2017). "Primate Archeology: International Workshop, University of Oxford, June 2016." *Evol Anthropol* 26(1): 1-2.
- Proffitt, T., Arroyo, A. and M. Haslam (2017). "Primate Archeology: International Workshop, University of Oxford, June 2016." *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews* 26, 1-2.
- Rizzolatti, G. and M. A. Umiltà (2013). "Canonical neurons." *Encyclopedia of Sciences and Religions*, The Netherlands: Springer, 305.

- Sakata, H., et al. (1997). "The TINS Lecture. The parietal association cortex in depth perception and visual control of hand action." *Trends Neurosci* 20(8): 350-357.
- Silcox, M. T. and S. Lopez-Torres (2017). "Major Questions in the Study of Primate Origins." *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 45: 113-37.
- Simpson, S. W., et al. (2018). "Why Do Knuckle-Walking African Apes Knuckle-Walk?" *Anat Rec (Hoboken)* 301(3): 496-514.
- Sussman, R. W. (1991). "Primate origins and the evolution of angiosperms." *Am J Primatol* 23(4): 209-223.
- Szalay, F. S. and M. Dagosto (1980). "Locomotor adaptations as reflected on the humerus of Paleogene primates." *Folia primatologica* 34: 1-45.
- Visalberghi, E. (1990). "Tool use in Cebus." *Folia Primatol (Basel)* 54(3-4): 146-154.
- Visalberghi, E. and L. Limongelli (1994). "Lack of comprehension of cause-effect relations in tool-using capuchin monkeys (*Cebus apella*)." *J Comp Psychol* 108(1): 15-22.
- Wong, P. and J. H. Kaas (2010). "Architectonic subdivisions of neocortex in the Galago (*Otolemur garnetti*)." *Anat Rec (Hoboken)* 293(6): 1033-1069.