

Evolutionsmedizin

- 2.1 Darwin, Wallace & Co. – Gleichzeitigkeit einer Entdeckung – 36
- 2.2 Darwin'sche Evolution – Arten und Auslese – 37
- 2.3 Darwin'sche Evolution – moderne Ergänzungen – 38
- 2.4 Hühner von hinten – 39
- 2.5 Gründereffekt in Kanada, Laktose-Unverträglichkeit und dicke Babys – 42
- 2.6 Das egoistische Gehirn – 44
- 2.7 Das egoistische Immunsystem – 46
- 2.8 Wenn zwei sich streiten ... – 47
- Literatur – 49

2.1 Darwin, Wallace & Co. – Gleichzeitigkeit einer Entdeckung

Charles Darwin kam am 12. Februar 1809 in Shrewsbury, England, auf die Welt. Nach der Grundschule studierte er Humanmedizin an der Universität von Edinburgh. Allerdings bemerkte sein Vater bald, dass der Sohn kein Interesse an der Medizin zeigte, eher mit naturkundlichen und naturhistorischen Studien zubrachte und mehr an den Schriften des Großvaters Erasmus Darwin – einem Naturphilosoph – interessiert war.

So schickte er ihn auf das Christ's College in Cambridge, und Charles musste die Laufbahn eines Pfarrers einschlagen. Allerdings waren die schulischen Leistungen nicht gut genug, um diese Ziele erreichen zu können. Indessen war er sehr viel mehr an naturphilosophischen Dingen interessiert, und er schloss sein Studium mit einem *Bachelor of Art* in Theologie im Jahre 1831 ab – mit diesem Ausbildungsniveau konnte er nicht Pfarrer werden. In dieser Zeit begann er seine berühmte Käfersammlung. Stimuliert durch die amerikanische Forschungsreise von Alexander von Humboldt von 1799–1804 wollte Charles Darwin nun selbst einen Beitrag zu naturkundlichen Studien leisten.

Glücklicherweise hatte er seine Fühler früh ausgestreckt, und sein Botanikprofessor John Henslow vermittelte ihm die Anstellung als Naturforscher auf der HMS Beagle (HMS = His Majesty's ship), die am 27. Dezember 1831 für eine fast fünfstündige Reise in See stach. Diese Reise mit Stopps auf den Galapagos-Inseln und in Australien war für Charles Darwin eine Quelle neuer Einsichten, die ihm schon während der Reise einen Namen als englischer Naturforscher einbrachten.

Sein Vater organisierte privates Vermögen und verhalf ihm so zu einem finanziell sorgenfreien Leben als Wissenschaftler. Charles Darwin war viele Jahre mit der Ausarbeitung seiner Aufzeichnungen und der Sortierung der mitgebrachten Sammlung beschäftigt. Aus den Notizbüchern geht klar hervor, dass er bereits Elemente seiner Evolutionstheorie, die 20 Jahre später so bedeutend werden sollte, in den Jahren 1837 und 1838 eingearbeitet, aber noch nicht publiziert hatte. Wenn man nun fragt, warum Charles Darwin diese Erkenntnisse erst so viele Jahre später – erst 1859 – publizierte, dann gibt es dafür mehrere Antworten.

Sicherlich litt er unter einer chronischen Krankheit, deren Art aufgrund der mangelnden Kenntnisse für uns heute ungeklärt bleibt. Er hatte mehrere Schübe, die ihn vielfach an der Ausübung seiner Arbeit hinderten. Nach der Heirat mit seiner Cousine ersten Grades, Emma Wedgwood, im Jahre 1839 bekamen sie zwischen 1839 und 1856 zehn Kinder, und drei der Kinder starben in jungen Jahren. Darunter war auch seine innig geliebte Anne Elizabeth, die im Alter von 10 Jahren an einer Infektionskrankheit zu Tode kam. Auch diese in mancher Hinsicht betrüblichen Vaterpflichten dürften ihn zum Teil behindert haben. Des Weiteren empfand er, dass die Grundlagen seiner Theorie durch zusätzliche Beobachtungen untermauert werden mussten. Der wohl wichtigste Hindernisgrund war aber die Tatsache, dass er die eigenen neuen Überlegungen als Wagnis empfand, weil sie zu einer grundlegenden Änderung der theologischen Anschauungen – nämlich des Schöpfungsdogmas aus dem ersten Buch Moses (Genesis) – führen musste. Er schrieb: „Mir ist, als gestünde ich einen Mord ein“ – den Mord am Schöpfungsakt.

Letztendlich stimulierte ihn im Juni 1858 – also 20 Jahre nach der Beagle-Fahrt – ein ihm zugesandtes Manuskript von Alfred Russel Wallace, der dort die Prinzipien der natürlichen Selektion aufzeigte. Alfred Russel Wallace (1823–1913) gilt heute als gleichberechtigter Urheber der frühen Form der Evolutionstheorie. Er führte selbst umfangreiche Studien im Amazonasgebiet und in der Inselwelt Malaysias durch. Nach ihm ist die Grenzlinie verschiedener Ökozonen zwischen Asien und Australien benannt (*Wallace Line*).

Die Ökozonen unterteilen die Erde in verschiedene biogeographische Bereiche mit unterschiedlichen ökologischen Merkmalen. Wer in Australien in freier Wildbahn einmal ein Känguru, ein Wombat, einen Schnabeligel, einen Koala, den lachenden Hans (Kookaburra) und andere kuriose, anderswo unbekannte Tiere gesehen hat, der kann nachvollziehen, wie Wallace hier auf die Idee einer Grenzlinie und demzufolge auf die natürliche Selektion kam.

Das Manuskript von Wallace erschien dann zeitgleich mit einer bis dato unveröffentlichten Arbeit von Charles Darwin aus dem Jahre 1844 in Form einer Lesung vor der englischen Carl von Linné'schen Gesellschaft in Abwesenheit beider Autoren (1. Juli 1858). Vielleicht hatten sie Angst vor der unmittelbaren Kritik, wobei sich interessanterweise sofort nach der Lesung nicht die übliche Diskussion entwickelte. Die Schrift von Wallace stimulierte nun Darwin, sein aufwendiges Buch *On the Origin of Species* (Über die Entstehung der Arten) innerhalb der nächsten eineinhalb Jahre fertigzustellen. Es erschien am 22. November 1859.

Was besagt nun die Evolutionstheorie?

2.2 Darwin'sche Evolution – Arten und Auslese

Wir wollen im Folgenden den Artenbegriff und die Darwin'sche Evolutionstheorie genauer schildern und werden am Ende sehen, welche enorme Bedeutung sie für die Medizin erlangt hat. Aber was ist eigentlich der Artenbegriff (■ Abb. 2.1).

■ **Abb. 2.1** Systematik im Reich der Tiere mit dem speziellen Blick auf die Art „Homo sapiens“

Reich (Tiere)

Stamm (Wirbeltiere)

Klasse (Säugetiere)

Ordnung (Primaten)

Familie (Menschenaffen)

Gattung (Homo)

Art (Homo sapiens)

Systematik im Reich der Tiere mit dem speziellen Blick auf die Art „Homo sapiens.“ Der Homo sapiens gehört zu der Familie der Menschenaffen und zu der Gattung Homo. Die Art wird definiert auf dem Boden von morphologischen Kriterien, biologischen Funktionen (Fortpflanzung als Kriterium: nur Vertreter einer Art können fruchtbaren Nachwuchs zeugen) oder stammesgeschichtlicher Zugehörigkeit. Nach der letztgenannten Definition beginnt eine Art nach einer stammesgeschichtlichen Artspaltung und endet nach dem Aussterben oder mit einer neuerlichen Artspaltung. Alle Definitionen haben Vor- und Nachteile und führen zu unterschiedlichen Einteilungen. Die Systematiken gehen auf Carl von Linné (*Linnæus*) zurück.

Darwin selbst tat sich mit dem Begriff der Art schwer, und die Definition wird in seinen Büchern nicht behandelt. Der Artbegriff ist bei Darwin wohl am ehesten eine Fortpflanzungsgemeinschaft, sodass er die biologische Definition benutzte. Diese biologische Definition wird ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts besonders favorisiert (von Theodosius Dobzhansky und Ernst Mayr). Ernst Mayr schrieb:

„Eine Art ist eine Fortpflanzungsgemeinschaft von Populationen und bezüglich der Vermehrung von anderen Fortpflanzungsgemeinschaften isoliert. Die Art nimmt eine spezifische Nische in der Natur ein.“

Die Evolutionstheorie geht auf mehrere Personen zurück, die zwischen 1858 bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts Beiträge lieferten. Im nachfolgenden Text sind die entscheidenden Elemente der Theorie in fetter Schrift hervorgehoben. Das oben genannte erste Buch Darwins enthält bereits folgende entscheidenden Grundsätze der frühen Form der Theorie:¹

- Es besteht ein **Nachkommenüberschuss**. Trotz dieses ständigen Überschusses ändern sich die Populationsgrößen nicht (die Zahl der Individuen bleibt stabil). Es folgt daraus ein entsprechender Abbau des Nachkommenüberschusses.
- Es herrscht eine vererbte Variabilität (**Vererbbarkeit und Variation**).
- Daraus folgt, dass die der jeweiligen Umgebung besser angepassten Individuen die größere Wahrscheinlichkeit besitzen, im Konkurrenzkampf zu überleben (**natürliche Selektion**, im Deutschen **natürliche Auslese**). Wir sagen zu einer heute noch existierenden Art, dass sie **positiv selektioniert** wurde. Das bedeutet, die Art oder ein Merkmal eines Lebewesens (z. B. ein roter Hahnenkamm) erfuhr nach vielen Generationen eine positive Auswahl, ist also noch da. Das Merkmal wurde positiv selektioniert. Im Gegensatz dazu erfuhr alle Arten, die heute nicht mehr existieren und ausgestorben sind, eine negative Auslese, sie wurden **negativ selektioniert**.
- Diese Auswahl der besseren Varianten führt fortschreitend zum Wandel des Artbildes (**Evolution**).

Die Formulierung „*Survival of the Fittest*“ (Überleben des Tüchtigsten) stammt übrigens nicht von Darwin selbst, sondern wurde von dem Sozialphilosophen Herbert Spencer geprägt (1864). Darwin verwendete allerdings in späteren Auflagen seines ersten Buches diesen Begriff auch. Obwohl in diesem ersten Buch die wesentlichen Elemente der Evolutionstheorie festgehalten wurden, sind im Laufe der Zeit Ergänzungen vorgenommen worden, die die moderne Form der Evolutionstheorie ausmachen.

2.3 Darwin'sche Evolution – moderne Ergänzungen

Nach dem Tode Darwins kamen bald genauere Vorstellungen von Vererbbarkeit hinzu, die erstmals 1866 von Gregor Mendel formuliert, dann drei Jahrzehnte vergessen und schließlich um 1900 wiederentdeckt wurden. Man nennt sie auch die Mendel'schen Vererbungsregeln.

Im weiteren Verlauf wurden folgende Punkte ergänzt, die schließlich ab etwa 1940 als „moderne Synthese der Evolutionstheorie“ bezeichnet wird:

- Das vererbbare Material ist trotz hoher Konstanz einzelnen, spontan entstandenen Variationen ausgesetzt (**Mutation**, Hugo de Vries, 1901).

¹ In den deutschen Worten von Gerhard Heberer im Nachwort zur Deutschen Ausgabe des Darwin-Buches im Reclam-Verlag von 1963.

- Das vererbare Material liegt auf den Chromosomen im Zellkern (**Gen** oder **Gene** definieren das Merkmal oder die Merkmale), und Mutationen können in allen Größenordnungen vorkommen (Thomas Hunt Morgan, 1907–1926).
- Bei der Fortpflanzung entsteht Variation durch Austausch von alternativen Formen desselben Gens (sogenannte Allele) und durch Neuordnung von genetischem Material, wobei hier ganze Stücke der Erbsubstanz (DNA) hin- und hergeschoben und neu zusammengesetzt werden können (**Rekombination**, auch T.H. Morgan und seine Arbeitsgruppe).
- Die Untersuchung ganzer Populationen erlaubt es, die Häufigkeiten von Merkmalen und damit von zugeordneten Genen in einer Fortpflanzungsgemeinschaft zu bestimmen (**Populationsgenetik**, viele Wissenschaftler,² zwischen 1910 und 1940).
- Auf dem Boden dieser populationsgenetischen Überlegungen entstehen Erkenntnisse zur **Isolation**, **Migration**, **Gendrift** und **Gründereffekt**, die eine Grundlage der Artbildung darstellen. Isolation wird als reproduktive Isolation (es können keine Nachkommen erzeugt werden, obwohl ursprünglich dieselbe Art vorlag), ökologische Isolation (ökologische Nische) und geographische Isolation (räumliche Trennung von Populationen derselben Art) erkannt. Gendrift ist eine zufällige Änderung der Allelhäufigkeit im Genpool einer Population (kann zum Beispiel durch Aufteilung in kleinere Teilpopulationen geschehen). Der Gründereffekt ist bei Neubesiedlung eines neuen Raumes mit einer kleinen Population wichtig, denn ein Gründervater oder eine Gründermutter könnte eine Erbinformation mitgebracht haben, die überproportional vermehrt wird (ein Beispiel ist im übernächsten Abschnitt genannt).
- Die natürliche Selektion prüft das Neuentstandene und ist der dominierende Evolutionsfaktor, der zur Anpassung (**Adaptation**) der einzelnen Lebewesen einer Population führt. Adaptation bezieht sich dabei auf Anpassung an die Umweltbedingungen.
- **Makroevolution** (d. h. Herausbildung großer Typenunterschiede oberhalb der Artebene, also bei Gattung, Familie, Ordnung und darüber, ■ Abb. 2.1) und **Mikroevolution** (d. h. Herausbildung kleiner Unterschiede innerhalb der Art, z. B. zwischen Ethnien) lassen sich beide als Kontinuum von der Mikroevolution zur Makroevolution durch Mutationen und Selektion erklären. Es gibt da keine logischen oder biologischen Sprünge (Beispiel: Entwicklung des Auges).

2.4 Hühner von hinten

An dieser Stelle verlassen wir den strengen wissenschaftlichen Aspekt der Evolutionstheorie und machen uns in einfachen Worten nochmals Verschiedenes klar. Die Evolutionstheorie wird oft nicht richtig verstanden, weil wir Menschen auf Ziele ausgerichtet sind. Wir machen uns jeden Tag aufs Neue klar, dass wir dieses und jenes zu erledigen haben, diese Handlung um diese und jene Uhrzeit ausführen müssen, in unserem Leben dieses oder jenes erreichen wollen usw. Wir projizieren hauptsächlich in die Zukunft und haben wenig für die Vergangenheit übrig. Wir denken in selbstgesteckten Zielen und bestimmen

2 Theodosius Dobzhansky, Sergej Četverikov, Ronald Fisher, John B.S. Haldane, Godfrey H. Hardy, Julian Huxley, Ernst Mayr, B. Rensch, George G Simpson, Wilhelm R. Weinberg, Sewall Wright, Nikolai Vavilov, George Yule u. v. a. (alphabetische Reihenfolge).

vorher (*a priori*), wie wir danach (*a posteriori*) dieses und jenes erreicht haben. Menschen sind „zielfindungsorientiert“.

Aufgrund der Betrachtungen *a posteriori* tut sich die Evolutionsbiologie anders als andere Wissenschaftszweige sehr viel schwerer, von uns Menschen verstanden zu werden. In der Physik, Chemie, Ingenieurwissenschaft etc. denken wir viel mehr in Zielen. Ein Beispiel aus der Physik mag es verdeutlichen: Wenn ich einen Körper einer bekannten Masse beschleunige, brauche ich genau diese Kraft (ich zielen auf eine Kraft). Im Gegensatz dazu braucht man eine besondere passive, wenig handlungsorientierte, beobachtende Einstellung, Evolution als bereits Entstandenes von hinten zu betrachten. Ernst Mayr schrieb einmal: „Anpassung an die Umwelt ... ist ein *a posteriori* – Ergebnis und kein *a priori* – Zielfinden.“

Wenn man also in seinem Garten zielorientiert gärt, dann wachsen bei ein bisschen Geschick die gewünschten Blumen, Sträucher und Bäume. Wir denken in Kategorien von Erreichbarem. Wenn man aber alles wachsen lässt, dann wundert man sich über die ungeahnte Vielfalt. Das Wundern kommt *a posteriori*, was viel Freude machen kann, gerade wenn man *a priori* wenig getan hat.

Die Religionen machen es uns an dieser Stelle auch nicht leichter, denn Religionen sind zielorientiert. Die christliche Religion zum Beispiel formt den Gläubigen und gibt ihm das Ziel des ewigen Lebens vor. Dies erfordert vom religiösen Menschen bestimmtes Verhalten, das in den 10 Geboten und an anderen Stellen festgelegt wird. Wir sind in dieser Denkweise geprägt, weil wir bereits sehr früh den Schöpfungsakt der Welt (Genesis) im Religionsunterricht kennengelernt haben.

Dieses zielorientierte Denken lässt sich auch deutlich im sogenannten Kreationismus erkennen, der besonders in den Vereinigten Staaten an vielen Stellen präsent ist. Das Wort Kreationismus sagt es bereits: „Jemand [Gott] hat etwas geschaffen, damit dieses und jenes erreicht wird.“ In vielen Schulen werden evolutionsbiologische Ansätze unter den Tisch gekehrt und im Gegensatz dazu Schöpfungsmythen unterrichtet. Der strenge Kreationismus verteidigt die Bibel und die Genesis. Demnach ist die Erde erst 6.000 Jahre alt. Auch in unseren Schulen – besonders in den unteren Klassen – kommt die Evolutionstheorie zu kurz.

An dieser Stelle sollte man einmal auf die Zeiträume der Evolutionsgeschichte eingehen (■ Tab. 2.1).

Diese in ■ Tab. 2.1 genannten Zeiträume sind enorm, und man kann die Größenordnung nur schwer abschätzen. Wenn man von gemeinsamen Vorfahren spricht, dann sahen diese nicht aus wie ein Mensch und auch nicht wie die in ■ Tab. 2.1 genannte Art, denn beide – Mensch und jeweilige Art – haben sich dann entsprechend der in ■ Tab. 2.1 angegebenen Zeit weiterentwickelt, ohne Ziel, aber möglichst optimal an die jeweilige Umweltbedingung angepasst.

Also war unser gemeinsamer Vorfahre zu den Hühnern weder ein Huhn noch ein Mensch, denn beide hatten 310 Millionen Jahre Zeit, um im Lauf der Evolution eine Änderung der Gestalt, der Gene, der biologischen Funktionen etc. zu erfahren. Wir stammen also nicht von den heutigen Hühnern ab.

Die Evolution muss immer von hinten betrachtet werden, und sie hat keine Richtung vom „Einfachen“ zum „Besseren“. Das derzeit Präsent ist nicht besser als das Gewesene. Die Dinosaurier waren 200 Millionen Jahre lang präsent, doch heute leben nur noch deren Nachfahren, zum Beispiel Hühner und Krokodile. Sind Hühner und Krokodile besser als Dinosaurier? Blöde Frage, oder?

Wenn wir uns zum Beispiel heute Gedanken über die in ■ Abb. 2.1 genannten Arten machen, dann schauen wir von hinten auf die stattgefundene Evolution. Und wenn ein Tier ausgezeichnet gut an Umweltverhältnisse angepasst ist, dann ist das eine Betrachtung von

Tab. 2.1 Abstand zwischen Mensch und letzten gemeinsamen Vorfahren der genannten Art in Jahren

Art	Jahre vor unserer Zeitrechnung
Gorilla, Schimpanse, Orang-Utan	6,5 Millionen
Ratte, Maus, Kaninchen	65 Millionen
Schwein, Kuh, Ziege, Pferd	65 Millionen
Hund, Katze	65 Millionen
Dinosaurier	310 Millionen
Huhn, Schlange, Krokodil, Schildkröte	310 Millionen
Frosch, Salamander	360 Millionen
Quastenflosser	400 Millionen
Hai, Rochen	420 Millionen
Neunauge, Schleimaal	460 Millionen
Seegurke, Seeigel, Seescheide	515 Millionen
Kalmar, Tintenfisch, Schnecke, Hummer, Krabbe	530 Millionen
Insekten	530 Millionen
Schwämme	540 Millionen
Pflanzen, Pilze	mehr als 600 Millionen
Erste Bakterien (Stromatolithen)	3,5 Milliarden
Alter der Erde*	4,6 Milliarden*

* Da sind die 6.000 Jahre aus der Bibel vergleichsweise kurz.

hinten, also nachdem alles bereits über Jahrmillionen abgelaufen ist. Nach vorne lässt sich Evolution nicht denken. Wenn also heutige Menschen ein Merkmal aufweisen, dann geht diesem A-posteriori-Ergebnis ein langer Evolutionsprozess voraus, das Ergebnis ist Adaptation (Anpassung), und man darf mit großer Sicherheit davon ausgehen, dass das Merkmal oft auch bei unseren direkten Vorfahren, aber auch bei viel weiter entfernten Vorfahren anderer Arten vorhanden ist.

Und das ist tatsächlich so! Selbst Hühner, mit denen wir den letzten gemeinsamen Vorfahren vor 310 Millionen Jahren teilen, haben eine Nebenniere, ein sympathisches Nervensystem, das Noradrenalin, das Interleukin-6 und überhaupt eine sehr ähnliche Energieregulation, wie sie in ► [Kap. 1](#) dargestellt wurde. Wenn ein gutes Prinzip sich bewährt hat, dann wird es nicht einfach wieder aufgegeben. Es bedeutet ja gute Anpassung an Leben auf dieser Erde. Schauen Sie sich in ► [Tab. 2.1](#) den Abstand zum gemeinsamen Vorfahren zu Hühnern nochmals an. Somit ist die Energieregulation zwischen Hühnern und Menschen schon seit 310 Millionen Jahren ziemlich – nicht in jedem Detail – ähnlich. Auch die Auszehrungszeit (s. ► [Kap. 1](#), ► [Tab. 1.3](#) ist relativ ähnlich bei Menschen und Hühnern).

Die Evolutionsmedizin greift auf derartige Kenntnisse zurück und generiert so einen *ultimaten* oder grundlegenden Rahmen, der die biologische und biomedizinische Wissenschaft

bereichert. Die medizinische Wissenschaft beschäftigt sich fast durchwegs sehr zielorientiert mit *proximaten* oder in der Nähe liegenden Gegenständen, die ganz unmittelbar dem Nutzen des Menschen dienen. Unsere heutigen Medizinstudenten werden zu Diagnose- und Therapiemaschinen ausgebildet, die ganz unmittelbare, also proximate finanzielle – vielleicht auch mitmenschliche – Erfolge erzielen sollen. Um aber die Probleme des Menschen und seine heutigen Krankheiten einordnen und in ihren Grundlagen verstehen zu können, bedarf es des proximatens **und** des ultimatens Blickes auf den Gesunden und Kranken. Der proximate Blick geht dabei eher auf das Individuum und der ultimate Blick auf die Population oder die Art.

Obwohl dieser ultimate Ausgangspunkt in der Biologie selbstverständlich ist, war und ist die Humanmedizin sehr langsam im Erkennen dieses fundamentalen Ansatzes. Im folgenden Abschnitt werden ultimate Erklärungen kurz vorgestellt, sodass man die Bedeutung der Evolutionsmedizin und deren grundlegenden Ansatz besser abschätzen kann.

2.5 Gründereffekt in Kanada, Laktose-Unverträglichkeit und dicke Babys

Versetzen Sie sich in das 16. und 17. Jahrhundert nach Kanada. In diesen beiden Jahrhunderten sind bereits 125.000 Deutsche in das Gebiet der heutigen USA ausgewandert. Nach Kanada wollten nicht so viele, nur etwa 1–5% davon. Franzosen erfuhren eine stärkere Anziehung nach Kanada, besonders in den Osten (heutiges Quebec). Aber auch im übrigen Gebiet Nordamerikas waren französische Einwanderer anzutreffen. Sie nannten dieses Land Neufrankreich (*Nouvelle France*). Beauftragt von Ludwig XIV im Jahr 1608 gründeten insgesamt sechs Siedlerfamilien mit insgesamt 31 Personen das heutige Quebec.

Bei den frühen französischen Siedlern waren wohl ein paar Personen präsent, die die Erb-anlage zu seltenen Krankheiten mitgebracht haben. Das ist besonders gut für eine Gruppe von Siedlern aus der südlichen Normandie bekannt, die um 1675 in die kanadische Region Charlevoix-Saguenay auswanderten. Sie brachten eine Nervenkrankheit mit, die in einer großen Population in Frankreich selten war und ist, aber in einer neugegründeten kleinen Population viel häufiger vorkam und vorkommt. So ist die Rate an einigen seltenen Krankheiten im französischen Kanada höher als im französischen Mutterland oder in Europa allgemein. Dieses Phänomen wird Gründereffekt genannt, da bei den etwa 2.600 Siedlern, die in dieser Region siedelten, „Krankheitsgründer“ anwesend waren.

Auf diese Art und Weise kann eine Migration auch zu Veränderungen führen, die den Gang der Evolution beeinflusst. Wüsste man nicht um diesen Gründereffekt, so würde man vielleicht nach ganz anderen Krankheitsursachen suchen, die nichts mit den Krankheiten zu tun hätten (z. B. Umwelteinflüsse, Arbeitseinflüsse, toxische Einflüsse etc.). Insofern hilft das Erkennen des Gründereffektes – ein Beispiel aus der Evolutionsmedizin – dem Arzt, Krankheiten genetisch erklären und so in Zukunft besser therapieren zu können.

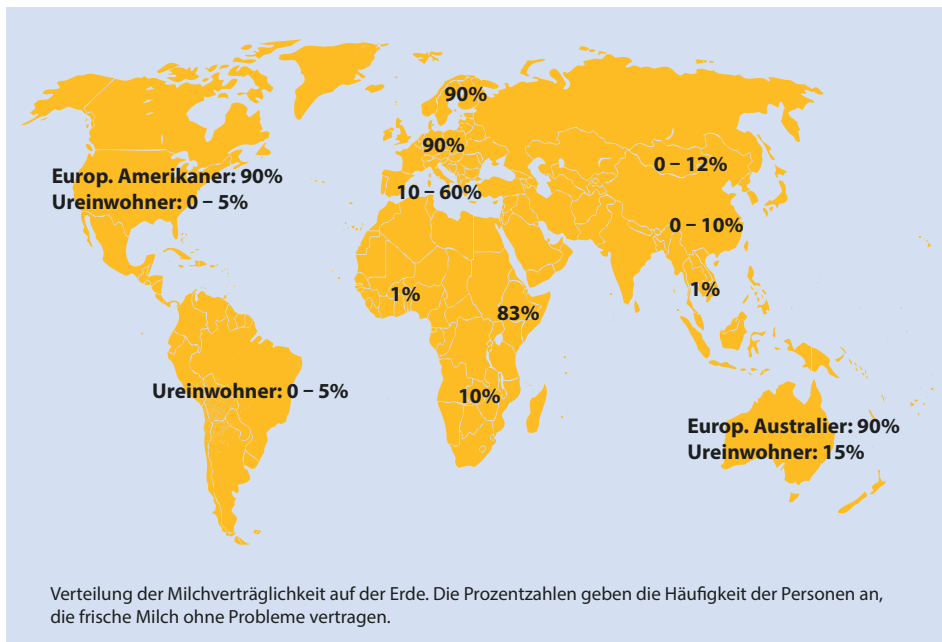
Ein anders Beispiel ist die Laktoseunverträglichkeit, die uns deshalb bekannt sein sollte, weil es laktosefreie Milch und laktosefreie Nahrungsmittel in unseren Supermärkten gibt. Etwa 90% der Deutschen kaufen diese Produkte nicht, aber Personen mit einer Laktoseunverträglichkeit sind darauf angewiesen. In unserem Darm gibt es ein Verdauungsenzym mit dem Namen Laktase (das dazugehörige Gen spielt die Schlüsselrolle). Laktase hat die Aufgabe, Laktose (Milchzucker) zu spalten, sodass sie im Darm aufgenommen werden kann. Da alle Säugetiere und auch der Mensch auf die frühkindliche Versorgung mit Muttermilch angewiesen sind (zumindest war es lange so), sind Säugetiere und Menschen in diesen frühen Jahren auf die Laktase angewiesen. Nach dem Abstillen wird die Aktivität

dieses Enzyms allmählich abgeschaltet, sodass wir gegenüber Laktose im Darm empfindlich reagieren (zwischen dem 2. und 5. Lebensjahr). Denn zu viel von dem nicht aufnehmbaren Milchzucker macht Blähungen und Durchfälle, und deshalb geht der Betroffene zum Arzt.

Wenn wir den Blick auf die heutigen Europäer richten, dann vertragen circa 90% der Mittel- und Nordeuropäer die frische Milch bis ins hohe Erwachsenenalter hinein. Auch 90% der Amerikaner und Australier mit europäischer Abstammung vertragen frische Milch im Erwachsenenalter. In den meisten Regionen der Erde, besonders in Asien und Afrika und bei den eingeborenen Australiern und den Ureinwohnern von Nord- und Südamerika, aber auch im Mittelmeerraum ist es ganz anders. In diesen Regionen haben die meisten Menschen eine Laktoseunverträglichkeit. Wenn man die Mehrzahl der Erdbevölkerung betrachtet (▣ Abb. 2.2), dann ist die Laktoseunverträglichkeit also eher normal als krankhaft.

Wenn die Welthilfsorganisation WHO die Laktoseunverträglichkeit als metabolische Krankheit einstuft, dann sind 80% der Erdbevölkerung darmkrank, und das kann ja wohl nicht sein. Die Menschen mit Laktoseunverträglichkeit erfanden nämlich Milchspeisen wie echten Kefir, Joghurt, Buttermilch und Dickmilch, bei denen der Herstellungsprozess mit Hefen zu einer Verdauung des Milchzuckers führt. So können die oben genannten 80% der Erdbevölkerung sehr wohl im Erwachsenenalter noch Milchprodukte zu sich nehmen, nur eben nicht die frische Milch.

Man weiß heute, dass die Toleranz gegenüber Milch durch eine genetische Veränderung im Gen der Laktase etwa um 10.500 Jahre vor unserer Zeitrechnung entstand. Etwa 10.500 Jahre vor unserer Zeitrechnung wurden dann milchproduzierende Tiere von unseren menschlichen Vorfahren zu Haustieren gemacht. Das hat sehr schön zusammengepasst, weil man nun im nördlichen Europa mit der neuen Laktase im Darm die Milch abbauen konnte. Diese genetische Veränderung führte zur Milchverträglichkeit im Kindes- und Erwachsenenalter. Prima Mutation!



▣ Abb. 2.2 Verteilung der Milchverträglichkeit auf der Erde

Nun sind aber nicht nur Nordeuropäer, sondern auch Ostafrikaner, zum Beispiel in Kenia, fähig, Milch im Erwachsenenalter zu genießen. Die Kenianer haben auch eine Veränderung im Gen der Laktase, die zur Milchverträglichkeit führt. Interessanterweise sind die genetischen Veränderungen bei den Mittel- und Nordeuropäern aber ganz andere als bei den Kenianern, doch ist die funktionelle Bedeutung bezüglich der guten Milchverträglichkeit identisch. Dieses Prinzip heißt **konvergente Evolution** (Übereinstimmung zeigend). Die konvergente Evolution führt auf verschiedenen Pfaden zum selben funktionell bedeutenden Merkmal, nämlich der Milchverträglichkeit im Erwachsenenalter.

Weil Beispiele so schön sind, wird nun eine dritte Erkenntnis dargestellt, die auch eine große Bedeutung für die heutigen Menschen besitzt. In ► **Kap. 1** „Energie und Körper“ wurde dargestellt, dass Menschenbabys im Vergleich zu den meisten Tieren einen Körper mit sehr hohem Fettanteil besitzen. Dieser Fettspeicher ist sinnvoll, wenn ein Baby wegen einer Infektion so krank wird, dass es kaum mehr Nahrung aufnehmen kann. Unter diesen Bedingungen zeigt das Baby ein typisches Krankheitsverhalten (engl. „sickness behavior“) und lebt von den Speichern, wobei Fettspeicher am meisten Energie aufnehmen können.

Gerade bei kleinen Kindern bis zum 6. Lebensjahr mit einem noch nicht vollständig funktionierenden Immunsystem ist diese „fette Phase“ wichtig, da die Gefahr der Infektionskrankheit am höchsten ist. Allerdings ist die „fette Phase“ zwischen 0 und 6 Jahren für die Anlage der Fettzellen maßgebend. In diesen frühen Jahren wird die Zahl der Fettzellen festgelegt. Werden in dieser Phase viele Fettzellen angelegt, so bleiben diese ein Leben lang erhalten, und man kann prima Fett speichern. Für den steinzeitlich lebenden Menschen ist dies sehr praktisch, weil er ausreichende Energiespeicher anlegen konnte. Dies nutzte ihm besonders bei Infektionskrankheit, aber auch bei Nahrungsmangel.

Gab es also in unserer Vorgeschichte eine oder mehrere genetische Veränderungen (Mutation), die zu einer frühkindlichen Zunahme der Zahl der Fettzellen führte, und war diese Mutation vor der Pubertät – also vor der Fortpflanzung – ein Überlebensvorteil, dann wurde diese vorteilhafte Mutation bei Fortpflanzung gerne an die nächste Generation weitergegeben. Man sagt dann: „Die Mutation blieb im Genpool erhalten“ oder „die Mutation wurde im Laufe unserer Evolutionsgeschichte beibehalten.“ Da diese frühkindliche Anlage von Fettzellen bei unseren heutigen Kindern noch immer existiert, muss sie wohl eine wichtige Sache in unserer Evolutionsgeschichte gewesen sein. Wäre diese übertriebene Fettspeicherung bei unseren neugeborenen Vorfahren ein offensichtlicher Nachteil gewesen und hätten daher die fetten Kinder nicht bis zum Fortpflanzungsalter überlebt, dann würde das Phänomen heute nicht mehr existieren. Da es aber heute noch existiert, war es wohl ziemlich sinnvoll. Leider ist damit aber auch die Möglichkeit zur übertriebenen Fettspeicherung früh festgelegt, was uns im Erwachsenenalter dann Probleme bereitet.

2.6 Das egoistische Gehirn

An dieser Stelle des Buches haben Sie genügend Basiswissen erlesen, um nun wieder zurück zur Energieregulation zu kommen. In ► **Kap. 1** „Energie und Körper“ haben Sie gelernt, dass die Hauptenergieverbraucher in unserem Körper das Gehirn, die Muskeln und das Immunsystem sind. Für diese drei Organe werden die Energiespeicher hauptsächlich angelegt. Es wurde auch schon angedeutet, dass „*The Big Three*“ wohl auch die wichtigsten Partner bei der Verhandlung der kontrollierbaren Energie im menschlichen Körper sind. Die kontrollierbare Energie – CAEN – ist verhandelbar, und dafür gibt es entsprechende Faktoren. Es wurden die Speicherfaktoren (► **Abb. 1.8**) und die Freisetzungsfaktoren (► **Abb. 1.9**) besprochen. ► **Tab. 1.3** gibt den Überblick für beide.

An dieser Stelle des Buches verknüpfen wir nun Evolutionsmedizin und Energieregulation, um die wesentlichen Verhandlungspartner der CAEN kennenzulernen.

Im Gedankenexperiment versetzen wir uns in einen steinzeitlichen Jäger, der mit männlichen Artgenossen in der Savanne auf die Jagd geht. Man ist angespannt, geradezu elektrisiert. Besonders die Unerfahrenen stehen unter Strom. Man hat sich kriegerisch gekleidet und das Gesicht bemalt. Sie tragen Federn auf dem Kopf, um das Körperbild zu vergrößern und um gefährlicher auszuschauen. Man trägt einen Wurfspeer und ein Messer aus Stein. Alles wurde gut ausgearbeitet, und die Erfahrenen bereiteten die Unerfahrenen auf die Jagd vor. Man spürt das Adrenalin, denn es kann jeden Moment ein Löwe aus dem Dickicht brechen. Nach Jared Diamond, dem weltbekannten Evolutionsbiologen, setzen sich die steinzeitlichen Kung-Krieger aus der Kalahari vielfach solchen Situation aus. Und dann passiert es tatsächlich – Löwen greifen an.

Wer entscheidet in dieser absolut angespannten Situation in unserem Körper? Wer erkennt, ob man lieber flüchten oder kämpfen soll? Wer dirigiert, wie wir mit den Jagdpartnern zusammenarbeiten sollen, und welche Methoden benutzt werden? Das Gehirn mit der Verschaltung zu Auge und Ohr und zum Rest des Körpers ist nun die entscheidende Steuerinstanz. Egal, wie wir uns entscheiden – ob Flucht oder Kampf, das Gehirn dominiert die Entscheidung und fordert in jedem Fall die willkürliche Muskulatur und die Herzmuskulatur zur Tat auf.

An diesem Beispiel wird die enge Verzahnung von Gehirn, willkürlich steuerbaren Muskeln und Herzmuskel deutlich. Jede Flucht- oder Kampfhandlung zieht eine hohe Aktivität der willkürlichen Muskulatur und des Herzmuskels nach sich. Und jetzt versteht man auch, warum die Muskeln nicht gerne die gespeicherte Energie hergeben (z. B. Glukose, Stärke oder Fettsäuren). Wenn Muskeln auf den Kampf vorbereitet sein sollen, dann dürfen sie in Ruhezeiten nichts abgeben.

Gehirn und Muskeln sind also eng gekoppelt. Unter normalen Bedingungen ist es nie der Muskel, der das Gehirn auffordert, aktiv zu werden, sondern es ist immer andersherum. Aufgrund der hohen Bedeutung im Überlebenskampf nimmt das Gehirn eine absolut zentrale Position in dieser Kampf- und Fluchtreaktion ein. Pointiert ausgedrückt kann man sagen, dass das Gehirn bei Kampf- und Fluchtreaktionen dominiert, weil es so am besten für das Überleben des Individuums ist.

Kampf- und Fluchtreaktionen können aber nur kurze Zeit dauern, da sie sehr hohe Energieausgaben bedingen. Es wurde gesagt: „Pheidippides – der erste Marathonläufer um etwa 490 vor unserer Zeitrechnung – lief etwa 40 km und nicht den ganzen Tag, und nach der Legende starb er an Erschöpfung.“ Kampf- und Fluchtreaktionen können nicht lange dauern. In [Abb. 1.5](#) wurden die Energiespeicher im Fettgewebe und Muskel besprochen. Diese Energiespeicher erlauben es uns bei einer Energiemehrausgabe durch eine Infektionskrankheit, 41 Tage ohne Nahrung zu überleben. Wir sagten: „Die Auszehrungszeit beträgt bei einer Infektionskrankheit ungefähr 41 Tage.“ Wenn wir aber am Tag so viel wie ein Marathonläufer ausgeben würden (140.000 kJ [33.432 kcal], wenn er den ganzen Tag läuft), dann reduziert sich diese Zeit rein rechnerisch auf nicht mal 4 Tage bis zum Tod – mal ganz abgesehen davon, dass man zwischendrin ein unglaubliches Schlafbedürfnis hätte und schon deshalb nicht 4 Tage am Stück Marathon laufen könnte (die einzige Ausnahme ist vielleicht Forrest Gump im gleichnamigen Roman von Winston Groom, der ewig laufen konnte und einen langen Bart bekam). Man würde nach 4 Tagen sicher den Erschöpfungstod sterben.

Zusammengefasst lässt sich also festhalten, dass das Gehirn bei Kampf und Flucht die willkürliche Muskulatur und das Herz dominiert und daher die oberste Instanz für die Verteilung der CAEN darstellt. So haben wir schon einen der beiden wichtigen Regulatoren der

CAEN gefunden. **Wir nennen das Gehirn daher egoistisch**, weil es die CAEN für sich und die von ihm abhängigen Muskeln reklamiert. Das Gehirn „fragt“ nicht, ob irgendein anderes Organ etwas einzuwenden hat. Es bleibt einfach nicht die Zeit, kostspielig zu verhandeln, da das Leben ganz unmittelbar bedroht ist. Der **Egoismus des Gehirns** wurde in unserer Evolutionsgeschichte beibehalten. Auch bei Hitze, Kälte oder beim Hungern ist das Gehirn die höchste Instanz.

2.7 Das egoistische Immunsystem

Nun kommen wir zur Betrachtung des Immunsystems, das als Hauptverbraucher bereits erkannt wurde. Wir versetzen uns in der Evolutionsgeschichte zurück in die Zeit der Neandertaler. Wenn sich ein Neandertaler beim Spiel mit einem Speer eine Fleischwunde zuzog, und diese Wunde sich unglücklicherweise infizierte, dann riskierte er bereits sein Leben. Antibiotika existieren erst seit 1928, als Alexander Fleming in England das Penicillin entdeckte. Nicht umsonst impfen wir heute Personen gegen Tetanus (Wundstarrkrampf), die mit solchen Fleischwunden in die Notaufnahme kommen. Der Neandertaler hatte beides nicht zur Verfügung, weder Penicillin noch Tetanusimpfung. Die Neandertaler waren auf die Fähigkeiten der Wundreinigung und auf die Abwehrzellen, also das Immunsystem, angewiesen. Das Immunsystem aber braucht Energie.

Unter günstigen Bedingungen, guter Wundreinigung, geringer Erregerzahl, minderer Erregergefährlichkeit und anständiger Abwehrleistung des Immunsystems war der Neandertaler bald wieder gesund. Sollte sich aber eine ernsthafte Infektion daraus entwickelt haben, sollten die Bakterien in die Tiefe eingedrungen sein, sollte sich ein Abszess im Gewebe gebildet haben, sollte dies eine erhebliche Infektionsproblematik hervorgerufen haben, dann wäre es möglicherweise kritisch geworden. Der enorme Energieverbrauch des Immunsystems hätte zum Tod führen können.

Abszesse sind auch bei den heute unter steinzeitlichen Verhältnissen lebenden Menschen eine große Gefahr. Einfache Kratzwunden können sich zu schweren lokalen Infektionen ausweiten und den Tod bedeuten. Jared Diamond beschreibt diese Situation in einem Buch aus dem Jahr 2012. Dort kam er in Neuguinea einem Menschen zu Hilfe, der seit vielen Tagen krank in einer Strohütte lag, weil er sich aufgrund einer Kratzwunde eine schwere lokale Infektion zugezogen hat. Die mitgebrachten Antibiotika besserten den Zustand des Kranken schnell. Wir wollen ein anderes Beispiel machen.

Man denke an die sogenannte Spanische Grippe, die in der Zeit zwischen 1918 und 1920 mindestens 25 Millionen Todesopfer weltweit forderte. Ist es im direkten Vergleich nicht überraschend, dass der gerade zu Ende gegangene Erste Weltkrieg „nur“ 10 Millionen Todesopfer forderte? Die Menschen waren erstens nach dem zu Ende gegangenen Ersten Weltkrieg geschwächt, zweitens waren die Nahrungsreserven gering, drittens war die Ernährungslage der Menschen schlecht und die gespeicherte Energie jedes einzelnen Menschen war auf einem Tiefpunkt.

Gerade die Grippe oder Influenza kann zu einer langen Krankheitsdauer und starken Auszehrung führen, weil sekundäre Probleme wie bakterielle Lungenentzündung und Ähnliches dazu kommen können. Bei diesem Energiemangel wird der Kranke ans Bett gebunden oder im Falle der Neandertaler an das Lager in der Höhle. Je nach Ausmaß der Infektionsproblematik kann hier ein längerer Krankheitsprozess resultieren, der bei deutlich verringerter Nahrungszufuhr wegen Krankheitsverhalten („*sickness behavior*“) zu einer kritischen Belastung der Energiereserven führen kann. Und dann gilt:

Ohne Energie keine Infektabwehr!

In beiden Fällen – bei Verletzung oder bei Grippe – dominiert das Immunsystem. Das Immunsystem „fragt“ nicht, ob irgendein anderes Organ etwas einzuwenden habe. Hier werden die anderen Organe wie Gehirn, Magen-Darm-Trakt (nicht die Leber), willkürliche Muskulatur und Herzmuskel heruntergefahren. Es bleibt einfach nicht die Zeit, kostspielig zu verhandeln, da das Leben ganz unmittelbar bedroht ist. Der Egoismus des Immunsystems ist in unserer Evolutionsgeschichte beibehalten worden; dieser Egoismus des Immunsystems ist heute noch präsent. Wir nennen das Abwehrsystem daher **egoistisches Immunsystem**. Ähnlich wie bei der Betrachtung des Gehirns muss nun das Immunsystem die Fähigkeit besitzen, die CAEN für sich zu reklamieren.

2.8 Wenn zwei sich streiten ...

Sollten sich Gehirn und Immunsystem in die Quere kommen, dann kann es richtig kritisch werden, da beide auf die Speicher zugreifen. Wir können eine solche Situation abschätzen, bei der wir zum Beispiel aus beruflichen Gründen ein großes Arbeitspensum verrichten müssen, aber gleichzeitig mit einer Infektionskrankheit geplagt sind. Das sind sehr kritische Situationen, da weder das Gehirn noch das Immunsystem richtig funktionieren. Beide beeinflussen sich in negativer Art und Weise, sie versuchen sich gegenseitig zu hemmen. Ein solches inneres Gefecht kann man wahrscheinlich nicht lange durchhalten.

Im Falle der erhöhten Arbeitsanforderung bei gleichzeitigem Infekt siegt nach der Erfahrung des Autors meistens das Immunsystem. Deshalb sagte einer meiner Kollegen kürzlich einmal, dass das Immunsystem noch egoistischer als das Gehirn sein muss. Irgendwann liegen wir im Bett. Die CAEN wandert in Richtung Immunsystem. Die Verhandlungen waren für das Gehirn negativ. Hier könnte man einwenden, dass sie doch auch letztendlich für das Gehirn positiv sind, da wir uns nur so von Infektionskrankheiten erholen und überleben können.

Die Betrachtung der Evolutionsgeschichte des Menschen half uns dabei, uns leichter in eine Zeit steinzeitlicher Jäger zu versetzen (die gibt es gegenwärtig noch). Es ist eben nicht wie heute, wenn wir vor dem Regal im Supermarkt stehen und der Hausarzt gleich um die Ecke wohnt. Auch können wir weitere Schlüsse aus der Betrachtung der Evolutionsgeschichte ziehen. So wie es dem steinzeitlich lebenden Jäger geht, so geht es auch den direkten Vorfahren (Homo), den Menschenaffen, allen Primaten, den Säugetieren ganz allgemein, den Wirbeltieren im weiteren Sinne und so ziemlich allen Tierarten, die kämpfen, flüchten und an Infektionen erkranken. Unter Betrachtung unserer Evolutionsgeschichte wird verständlich, dass auch weiter entfernte Tiere ähnliche Mechanismen aufweisen müssen. Wer flüchtet oder kämpft, braucht ein erkennendes Gehirn und Nervensystem und eine Muskulatur, die das tut, was das Gehirn anordnet – Kämpfen oder Weglaufen. Wer sich einem Infektionsprozess aussetzt, braucht ein erkennendes Immunsystem, das den Infektionserreger überwindet oder die Wundheilung befördert. Da die Speicher begrenzt sind, Kampf/Flucht oder Immunabwehr aber viel kosten, muss die Reaktion zeitlich begrenzt sein. Die meisten anderen, an dieser Reaktion nicht beteiligten Organe müssen auf ihre Grundausgabe heruntergefahren werden.

Am Ende dieses Abschnitts wird hoffentlich deutlich, dass wir zwei sich möglicherweise streitende Verhandlungspartner bezüglich der CAEN besitzen:

- das egoistische Gehirn und
- das egoistische Immunsystem.

Diese grundsätzliche Überlegung führt zu einem wichtigen Regelprinzip: Gehirn und Immunsystem müssen die Verhandlungen möglichst mit ihren eigenen Mitteln führen, sodass der jeweils andere wenig dagegen tun kann. Das führt uns unmittelbar zur Betrachtung der in [Abb. 1.9](#) genannten Faktoren für die Energiefreisetzung.

Auf den Punkt gebracht

- Charles Darwin und Alfred Russel Wallace waren 1858 für die erste Abfassung der Evolutionstheorie maßgeblich.
- In die erste Form der Evolutionstheorie wurden eingearbeitet:
 - Nachkommenüberschuss,
 - Vererbbarkeit,
 - Variabilität,
 - natürliche Selektion (positive und negative Selektion),
 - Anpassung (Adaptation) wandelt Artenbild (Evolution)
- Die moderne Evolutionstheorie ergänzt:
 - Chromosom,
 - Gene,
 - Mutation,
 - Rekombination von Erbmaterial;
 - Populationsgenetik definiert Regeln und führt zu Vorstellungen über Isolation, Migration, Gendrift und Gründereffekte;
 - Makro- und Mikroevolution stellen ein Kontinuum dar.
- Eine Art ist eine Fortpflanzungsgemeinschaft von Populationen und bezüglich der Vermehrung von anderen Fortpflanzungsgemeinschaften isoliert. Die Art nimmt eine spezifische Nische in der Natur ein (Ernst Mayr).
- Menschen denken *a priori*, also zielfindungsorientiert; Evolution muss man jedoch von hinten betrachten: *a posteriori*.
- Große Zeiträume von Millionen oder gar Milliarden Jahren sind schwer zu fassen. Bei einem durchschnittlichen zeitlichen Abstand zwischen 2 aufeinanderfolgenden Generationen von 20 Jahren (heutiger Mensch: 25 Jahre) erhält man in einer Million Jahre 50.000 Generationen. Von den ersten Wirbeltieren trennen uns 460 Millionen Jahre (Neunauge, Schleimaal).
- Der Mensch stammt nicht vom Huhn ab. Huhn und Mensch hatten vor 310 Millionen Jahren einen gemeinsamen Vorfahren, der weder ein Huhn noch ein Mensch war. Beide hatten genug Zeit, sich anders zu entwickeln.
- Die Evolutionsmedizin ist ein neues Fachgebiet, das zur Erklärung von Krankheitsursachen beiträgt: zum Beispiel seltene Krankheiten im französischen Kanada (z. B. Charlevoix-Saguénay), Laktoseunverträglichkeit ohne Krankheitswert, sowie die Fettspeicherung, die bei unseren Vorfahren existierte und bei uns immer noch existiert.
- Das Gehirn ist bei Kampf und Flucht akut tätig (Muskel und Herz sind vom Gehirn abhängig). Das Immunsystem ist bei Infektabwehr und Wundheilung akut tätig. Die verbrauchte Energie kann nicht größer sein als die Energiereserven. So kann man die Auszehrungszeit berechnen.
- Es gibt ein egoistisches Gehirn und ein egoistisches Immunsystem. Die jeweils unbeteiligten Organe werden bei akuter Aktivierung auf die Grundbedürfnisse heruntergefahren.
- Es gibt zwar „The Big Three“ (Gehirn, Muskeln, Immunsystem), aber bezüglich der Verhandlung der CAEN („controllable amount of energy“) gibt es nur zwei Egoisten, da das Gehirn die Aktivität von Herzmuskel und Skelettmuskulatur kontrolliert.

- Aus evolutionsmedizinischer Sicht sollten Gehirn und Immunsystem dominant und weitgehend unabhängig voneinander in der Beschaffung der CAEN tätig sein. Es müssen also getrennte Faktoren des Gehirns bzw. des Immunsystems vorliegen.

Literatur

- Darwin C (1963) Die Entstehung der Arten. Reclam, Stuttgart
- Diamond J (2012) The world until yesterday: what we can learn from traditional societies. Viking Penguin, New York
- Fischer EP (2008) Das große Buch der Evolution. Fackelträger Verlag, Köln
- Ganten D, Spahl T, Deichmann T (2009) Die Steinzeit steckt uns in den Knochen. Piper Verlag, München
- Gluckman P, Beedle A, Hanson M (2009) Principles of evolutionary medicine. Oxford University Press, Oxford
- Jahn I (2000) Geschichte der Biologie. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg Berlin
- Laberge AM, Michaud J, Richter A, Lemyre E, Lambert M, Brais B, Mitchell GA (2005) Population history and its impact on medical genetics in Quebec. Clin Genet 68: 287–301
- Mayr E (1982) The Growth of Biological Thought. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts) London
- Spalding KL, Arner E, Westermark PO, Bernard S, Buchholz BA, Bergmann O, Blomqvist L, Hoffstedt J, Naslund E, Britton T, Concha H, Hassan M, Ryden M, Frisen J, Arner P (2008) Dynamics of fat cell turnover in humans. Nature 453: 783–7

Altern, Müdigkeit und Entzündungen verstehen
Wenn Immunsystem und Gehirn um die Energie im
Körper ringen

Straub, R.H.

2018, XVII, 209 S. 38 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-662-55786-0