

Fig 4

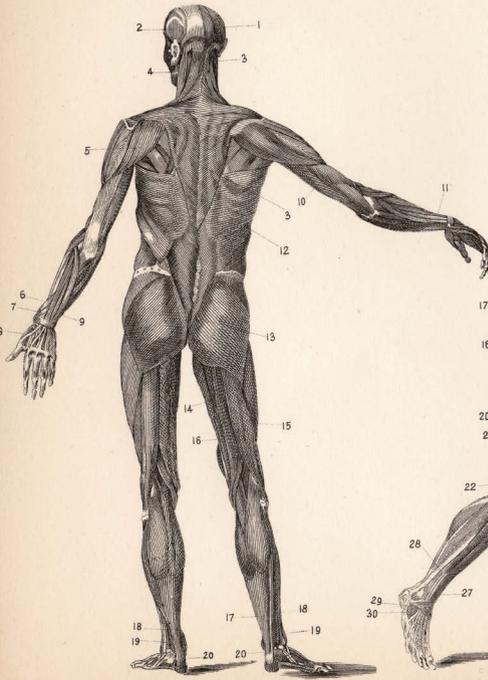


Fig 3

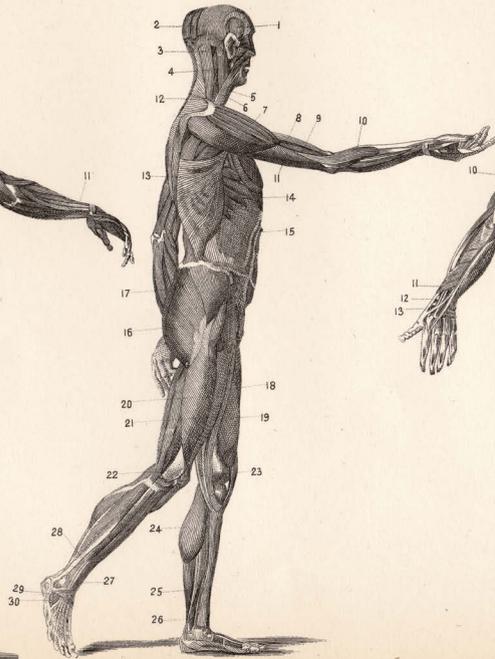


Fig 5



Mabel E. Todd

Der Körper denkt mit

Anatomie als Ausdruck
dynamischer Kräfte

4., unveränderte Auflage

Klassiker der
Körpertherapien

 hogrefe

Der Körper denkt mit

Der Körper denkt mit

Mabel E. Todd

Programmbereich Gesundheit

Mabel E. Todd

Der Körper denkt mit

Anatomie als Ausdruck dynamischer Kräfte

4., unveränderte Auflage



Die Originalausgabe erschien 1937 unter dem Titel *The Thinking Body. A Study of the Balancing Forces of Dynamic Man* bei Dance Books, Cecil Court, London.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://www.dnb.de> abrufbar.

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Kopien und Vervielfältigungen zu Lehr- und Unterrichtszwecken, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Anregungen und Zuschriften bitte an:

Hogrefe AG

Lektorat Medizin

Länggass-Strasse 76

3000 Bern 9

Schweiz

Tel: +41 31 300 45 00

E-Mail: verlag@hogrefe.ch

Internet: <http://www.hogrefe.ch>

Lektorat: Susanne Ristea

Bearbeitung: Dr. Karl H. Quadflieg, Dr. Sibylle Tönjes

Herstellung: Daniel Berger

Umschlagabbildung: © Whiteway, iStock

Umschlag: Claude Borer, Riehen

Druck und buchbinderische Verarbeitung: AZ Druck und Datentechnik GmbH, Kempten

Printed in Germany

4., unveränderte Auflage 2017

© 2017 by Hogrefe Verlag, Bern

© 2009, 2003, 2001 by Verlag Hans Huber, Bern

(E-Book-ISBN_PDF 978-3-456-95815-6)

ISBN 978-3-456-85815-9

<http://doi.org/10.1024/85815-000>

Nutzungsbedingungen:

Der Erwerber erhält ein einfaches und nicht übertragbares Nutzungsrecht, das ihn zum privaten Gebrauch des E-Books und all der dazugehörigen Dateien berechtigt.

Der Inhalt dieses E-Books darf von dem Kunden vorbehaltlich abweichender zwingender gesetzlicher Regeln weder inhaltlich noch redaktionell verändert werden. Insbesondere darf er Urheberrechtsvermerke, Markenzeichen, digitale Wasserzeichen und andere Rechtsvorbehalte im abgerufenen Inhalt nicht entfernen.

Der Nutzer ist nicht berechtigt, das E-Book – auch nicht auszugsweise – anderen Personen zugänglich zu machen, insbesondere es weiterzuleiten, zu verleihen oder zu vermieten.

Das entgeltliche oder unentgeltliche Einstellen des E-Books ins Internet oder in andere Netzwerke, der Weiterverkauf und/oder jede Art der Nutzung zu kommerziellen Zwecken sind nicht zulässig.

Das Anfertigen von Vervielfältigungen, das Ausdrucken oder Speichern auf anderen Wiedergabegeräten ist nur für den persönlichen Gebrauch gestattet. Dritten darf dadurch kein Zugang ermöglicht werden.

Die Übernahme des gesamten E-Books in eine eigene Print- und/oder Online-Publikation ist nicht gestattet. Die Inhalte des E-Books dürfen nur zu privaten Zwecken und nur auszugsweise kopiert werden.

Diese Bestimmungen gelten gegebenenfalls auch für zum E-Book gehörende Audiodateien.

Anmerkung:

Sofern der Printausgabe eine CD-ROM beigelegt ist, sind die Materialien/Arbeitsblätter, die sich darauf befinden, bereits Bestandteil dieses E-Books.

Inhalt

1. Funktion und Form menschlicher Bewegung	15
Verhaltensweisen des menschlichen Körpers	15
Unsere Gewohnheiten	18
Knochen und Stahl	19
Die Bedeutung des Gleichgewichts	21
Die Form folgt der Funktion	22
Haltungsmuster	29
Die psychophysikalischen Grundlagen von Haltung	31
2. Reaktionsmechanismen des Körpers	33
Mechanische Reaktionen	33
Die Nerven	33
Sich seiner selbst bewusst sein	34
Die Nervenreflexe	36
Der Muskeltonus	37
Das kinästhetische Bewusstsein	38
Das Ändern von Haltungsmustern	39
Die Reflexe der Körperhaltung	40
Die bedingten Reflexe der Körperhaltung	41
Psyche und Körperhaltung	42
Ruhig stehen ist nicht einfach	43
Muskeln in Ruhe und Bewegung	44
Körpermechanik und guter Gebrauch der Körperstruktur	47

3. Auswirkungen der Mechanik auf Funktionen und Strukturen des Körpers	51
Die Verhaltensmuster der Zweibeiner	51
Strukturen und Kräfte	52
Die fünf auf den Körper einwirkenden mechanischen Kräfte	53
Axiale und andere Beanspruchungen	53
Mechanische Beanspruchungen	55
Belastungen für den menschlichen Körper	56
Übertragene Schmerzen	57
Druck- und Zugelemente	58
Prinzipien der Schwerkraft, des Kraftmoments und der Trägheit	59
Aufrechterhaltung des Körpergleichgewichts	60
Stahl und Knochen als Baumaterial	61
Organisation beweglicher Gewichte	63
Auswirkungen einer mangelhaften Balance	63
Ermüdung der Muskulatur	64
Mechanismen für einen ökonomischen Muskeleinsatz	64
Dauerbelastung von Muskeln	66
Von allen Vieren zum Stand auf zwei Beinen	67
Beim Stehen auftretende Beeinträchtigungen	69
Womit der Zweibeiner die gegebenen Nachteile ausgleicht	70
Abschließender Vergleich	73
4. Die Arbeitsweise des menschlichen Skeletts	77
Grundlagen	77
Die Wirbelsäule	81
Die Wirbel	81
Die Mechanik der Wirbelsäule	85
Die gekrümmte Wirbelsäule	88
Wie es zu den ausbalancierten Wirbelsäulenkurven kam	90
Weitere Eigenschaften der Wirbelsäule	94

Der Kopf balanciert auf der Wirbelsäule	99
Rippen und Brustbein	101
Das Becken	107
Pfeiler, die den Beckenbogen tragen	109
5. Dynamische Bewegungsmechanismen	113
Muskeln von Becken und Oberschenkel	113
Wie die Beckenmuskeln dem Gleichgewicht dienen	116
Die Bänder des Beckenbereichs	118
Das Bindegewebe im Beckenbereich	120
Das Becken als Stoßdämpfer	124
Beine und Füße	127
Der Oberschenkel	127
Der Unterschenkel	128
Knöchel und Fuß	130
Gleichgewicht und Krafteinwirkung an Beinen und Füßen	131
Schultergürtel und Arme	133
Die strahlenförmige Anordnung der Schulter- und Armmuskulatur	135
Die Schultermechanik	139
6. Die Balance in der aufrechten Haltung	143
Was ist Haltung?	143
Gewichtsbelastung und -verteilung bei aufrechter Körperhaltung	144
Vertikale Stützmechanismen bei horizontaler Körperlage	146
Vertikale Stützmechanismen bei aufrechter Körperhaltung	146
Der angestrengt hochgezogene Brustkorb	147
Natürliches Heben des Brustkorbs	149
Die Belastung der Schultern	152
Die «Reifrock»-Haltung	153
Lastenverteilung zwischen Brustkorb und Becken	153
Belastungen durch innere Anspannung	154

8 Der Körper denkt mit

Den Rücken hinunter und die Vorderseite hinauf	155
Erweiterte Wahrnehmung durch ungewohnte Körperhaltungen	156
Körperbalance und Atmung	160
Der Beckenbogen	162
Die Rolle der Füße bei der Gewichtskontrolle	163
Das Gleichgewicht spüren	164
Die lange Achse der Wirbelsäule	165
Beckengleichgewicht und Körperachsen	168
Brustkorb, Schultern und Kopf	170
7. Die Balance im Gehen	173
Die Physiologie des Gehens	173
Müheloses Gehen	177
Die Schwerkraft beim Gehen	178
Zeitliche Abstimmung und Start des Gehens	181
Die Hüftgelenke	183
Die Kniegelenke	184
Unterschenkel und Sprunggelenke	185
Das Spiel des Gehens	186
Die Rolle der Augen beim Gehen	190
8. Die Atmung	193
Der Atemrhythmus	193
Formen der Atmung	194
Die Koordinierung des Atemrhythmus	195
Das Zwerchfell	196
Das Wechselspiel von Arbeit und Ruhe	198
Rumpfstrecker und -beuger	199
Die Anatomie des Zwerchfells	200
Die Aufgaben des Zwerchfells	202
Aktionen des Zwerchfells	202

Zusammenwirkende Körperstrukturen	203
Bewegungskontrolle durch die tiefe Muskulatur	205
Die physiologische Funktion der Atmung	208
Die Balance im Halten des Brustkorbs	208
Das Zwerchfell und die Wirbelsäulenkrümmungen	209
Zusammenwirkende Körperrhythmen	210
Training des kinästhetischen Gefühls	210
9. Das Eigenwahrnehmungssystem	213
Reflexartige Verhaltensmuster	213
Alte Mechanismen der Tiere	214
Die Vorbereitung auf eine Bewegung	214
Die Bedeutung des Ausatmens	216
Die Nervenversorgung des Zwerchfells	217
Ausgeglichene Kräfte in Notfallsituationen	218
Der tote Punkt	219
Haltung und Sprache	220
Elemente der Sprache	221
Konditionierte Reflexe bei der Atmung	222
Anatomie der Sprechorgane	223
10. Das Gleichgewicht des Körpers aus physiologischer Sicht	225
Was ist Stabilität?	225
Müdigkeit	226
Chronische Müdigkeit	227
Belastungen bei Zielkonflikten	228
Aufmerksamkeit	230
Neuronale Belastungen	232
Der Mechanismus unseres Nervensystems	233
Emotionen und ihre Steuerung	234
Das Gleichgewicht des Zentralnervensystems	237

10 Der Körper denkt mit

Natürliche und unnatürliche Bewegungseinschränkung	239
Die Entstehung von Gewohnheiten	240
Nähere Betrachtung des Zwerchfells	241
Körperempfinden während des Sitzens	243
Ausbalanciertes Sitzen	244
Hilfreiche Bilder	246
Emotionale oder mechanische Belastungen?	246
Effekte des Zischens beim Ausatmen	247
Entspannung	249
Sachregister	253

Geleitwort zur deutschen Ausgabe

Das Buch *The Thinking Body* und die praktische Arbeit von Mabel Todd gehen letztlich auf eine Rückenverletzung zurück, die sie als Schülerin erlitt. Die Verletzung beeinträchtigte ihre Gehfähigkeit, und die Ärzte erklärten ihr, dass ihr Gehen zeitlebens beeinträchtigt sein würde. Aber die eigenwillige und dynamische Todd wollte sich mit ihrem Zustand nicht abfinden. Als sie von New York nach Boston umzog, um aufs College zu gehen, suchte sie immerzu nach Möglichkeiten, ihren Gesundheitszustand zu verbessern. Nach dem Studium eröffnete sie in Boston eine Praxis für Stimmunterricht. Weiterhin suchte sie Wege, um wieder besser gehen zu können. Die Informationen, die sie auf dieser Suche gesammelt hatte, bildeten die Basis für ihr Buch *The Thinking Body*.

Als sich ihre Gehfähigkeit verbesserte, gab sie den Stimmunterricht auf und eröffnete in Boston eine Praxis, in der sie Menschen mit Haltungs- und Bewegungsproblemen unterrichtete. Während des ersten Weltkrieges und bis in die 20er Jahre unterrichtete sie in Boston. 1929 zog sie nach New York, um ihre Methode am Lehrer-Kolleg der Columbia University zu unterrichten. In dieser Zeit schrieb sie einen Unterrichtsplan für ihre Studenten, einige kurze Artikel für die allgemeine Öffentlichkeit und für das *New England Journal of Medicine*. Auch hielt sie Vorträge in der New School for Social Research in New York.

Ihr erstes Buch wurde 1937 veröffentlicht. Gefragt, warum sie so lange damit gewartet hatte, antwortete sie: Da sie eine neue Disziplin entwickelte habe, habe sie Zeit gebraucht, um ihre Wirksamkeit zu erproben, bevor sie darüber ein Buch veröffentlichte. Mabel Todd unterrichtete bis in die 50er Jahre und gab 1953 ihr zweites Buch *The Hidden You* heraus. Sie starb 1956.

Todds Arbeit hat viele Facetten und Dimensionen; es ist schwierig, wenn nicht unmöglich, sie in eine bestimmte Kategorie einzuordnen. Um ein besseres Verständnis für die Reichweite ihrer Arbeit zu geben, seien im folgenden einige inhaltliche Stichpunkte aufgeführt: neuro-muskuläre Erziehung, psycho-physische Erziehung, psycho-motorische Erziehung, ideomotorische Erziehung, strukturelle Hygiene, Körpermechanik, physio-philosophisches Training und Ideokinese.

Der Begriff «Ideokinese» wurde von dem amerikanischen Klavierlehrer Bompensière geprägt, der in den 30er Jahren beliebt war. Er nutzte metaphorische

Bilder im Klavierunterricht und erfand das Wort «Ideokinese» (aus dem Griechischen *idea* = Idee, Gedanke, *kinesis* = Bewegung), um seine Unterrichtsmethode zu umschreiben. Das Wort könnte man ungefähr mit «Bild oder Gedanke als Förderer der Bewegung» übersetzen. In ihrem 1974 veröffentlichten Buch *Human Movement Potential* benutzte Lulu Sweigard, eine Schülerin von Todd und Lehrerin ihrer Methode, den Namen «Ideokinese». Seither ist dieser Name für Todds Arbeit gebräuchlich.

Um zu verstehen, warum metaphorische Bilder und Vorstellungskraft gebraucht werden können, um Bewegungsmuster zu verändern, muss man verstehen, was Bewegung überhaupt ist. Menschliche Bewegung kann man als «neuro-muskulo-skelettäres Ereignis» definieren, d.h. für eine Bewegung müssen drei Körpersysteme zusammenarbeiten, die jeweils ihre eigene, spezifische Rollen übernehmen: Das Nervensystem ist der Kurier, es übermittelt die Botschaften oder Impulse zu den Muskeln, die dann anspannen oder entspannen; das Muskelsystem führt die Impulse aus; das Skelettsystem stützt und wird von den Muskeln bewegt. Um zu verstehen, wie ein Vorstellungsbild ein «Bewegungsmuster» verändern kann, sollte man sich folgenden kritischen Punkt klarmachen: das Nervensystem ist mehr als nur ein einfacher Kurier. Es organisiert auch die Bewegungsmuster, die die erwünschte Bewegung ausführen werden. Es organisiert dies «subkortikal», also unter der Schwelle des Bewusstseins.

Man sollte sich klar darüber sein, was ein Bewegungsmuster überhaupt ist: Es ist die Anspannung der Muskeln in ihrer Gesamtheit, die vom Nervensystem gesteuert eine Bewegung ausführen. Muskeln arbeiten normalerweise nicht einzeln, sondern in Gruppen. Und diese Gruppen arbeiten mit anderen Gruppen. Ein Bewegungsmuster zu organisieren ist eine hochkomplexe und komplizierte Aufgabe. Zum Glück übernimmt unser Nervensystem dies für uns auf subkortikalem Niveau. Nicht nur müssen wir die Bewegungsmuster nicht bewusst organisieren, sondern wir sollten es auch nicht versuchen; denn dies wird den Organisationsprozess (des Nervensystems) stören und in einer verarmten Bewegung resultieren. Die Aufgabe unseres Bewusstseins ist es, sich auf die Bewegung selbst zu konzentrieren. Denn das Nervensystem spricht beim Organisieren des Bewegungsmusters auf die Klarheit im zugrundeliegenden Bewegungskonzept eines Menschen an. Das muskuläre Muster ist schlecht, wenn die falsche Botschaft, das «fehlerhafte Konzept» den Muskeln übermittelt wurde. Diese «falsche Botschaft» resultiert entweder aus einem Mangel an Klarheit über die Bewegung oder aus einem eingefahrenen verarmten Bewegungsmuster. Um dieses Problem zu korrigieren, ist das Ziel, die fehlerhafte Botschaft zu verändern, d.h. die Bewegung wieder (neu) zu denken (sich anders vorzustellen), um das Nervensystem zu stimulieren, das verarmte Bewegungsmuster zu ändern.

Ideokinese ist kein Schnellverfahren. Im Gegenteil, es ist ein lang dauernder Erziehungsprozess, der nicht nur das neuro-muskuläre System verbessert, sondern

auch die anderen Systeme des Menschen. Es führt zu einem Zustand der «Homöostase», einem stabilen Gleichgewicht zwischen unterschiedlichen, aber zusammenhängenden Elementen und «Untersystemen» des ganzen Organismus. Dies wird von der Person erfahren als Wohlbefinden, als vom Tagewerk weniger erschöpft sein und als eine dynamische Entspannung, die einem Bewegungsfreiheit verleiht und kreative Fähigkeiten frei setzt.

Als *The Thinking Body* 1937 erstmals veröffentlicht wurde, war es seiner Zeit weit voraus. Und auch heute, da es zum ersten Mal in deutscher Sprache vorliegt, bleibt es seiner Zeit weit voraus. Und doch ist das Interesse an diesem Buch stärker denn je, und in der Tat ist es ein Glück, dass die deutschsprachigen Länder nun Zugang zu diesem ungewöhnlichen und wertvollen Buch in ihrer eigenen Sprache haben werden. Vielleicht wird eine Fortsetzung von *The Thinking Body* in Deutsch von einem talentierten Autor geschrieben werden; der Grundstein dazu ist mit der Veröffentlichung dieses Buches gelegt.

Alle Praktizierenden von Methoden, die sich mit der Verbesserung des Zusammenspiels von Körper und Geist beschäftigen, finden in diesem Buch anwendbares Grundwissen. Lehrer und Schüler der Alexander-Technik, der Eutonie, der Feldenkrais-Methode, Rolfer, aber auch Physiotherapeuten, Sportpädagogen, Künstler und Musiker und nicht zuletzt Ärzte und Psychotherapeuten werden überrascht sein über die «neue» Sichtweise einer dynamischen Anatomie.

Seit ich Anfang der 80er Jahre erstmals Ideokinese in Europa vorstellte, war es mein Wunsch, auf eine deutsche Übersetzung von *The Thinking Body* verweisen zu können. Ich bin dem Übersetzer Peter Güttinger und dem Verlag Hans Huber dankbar für die Verwirklichung dieses Projektes und wünsche der deutschen Übersetzung den ihr gebührenden Erfolg.

Januar 2001

André Bernard
Adjunct Professor, Dance Education
Department of Music and Performing Arts,
New York University

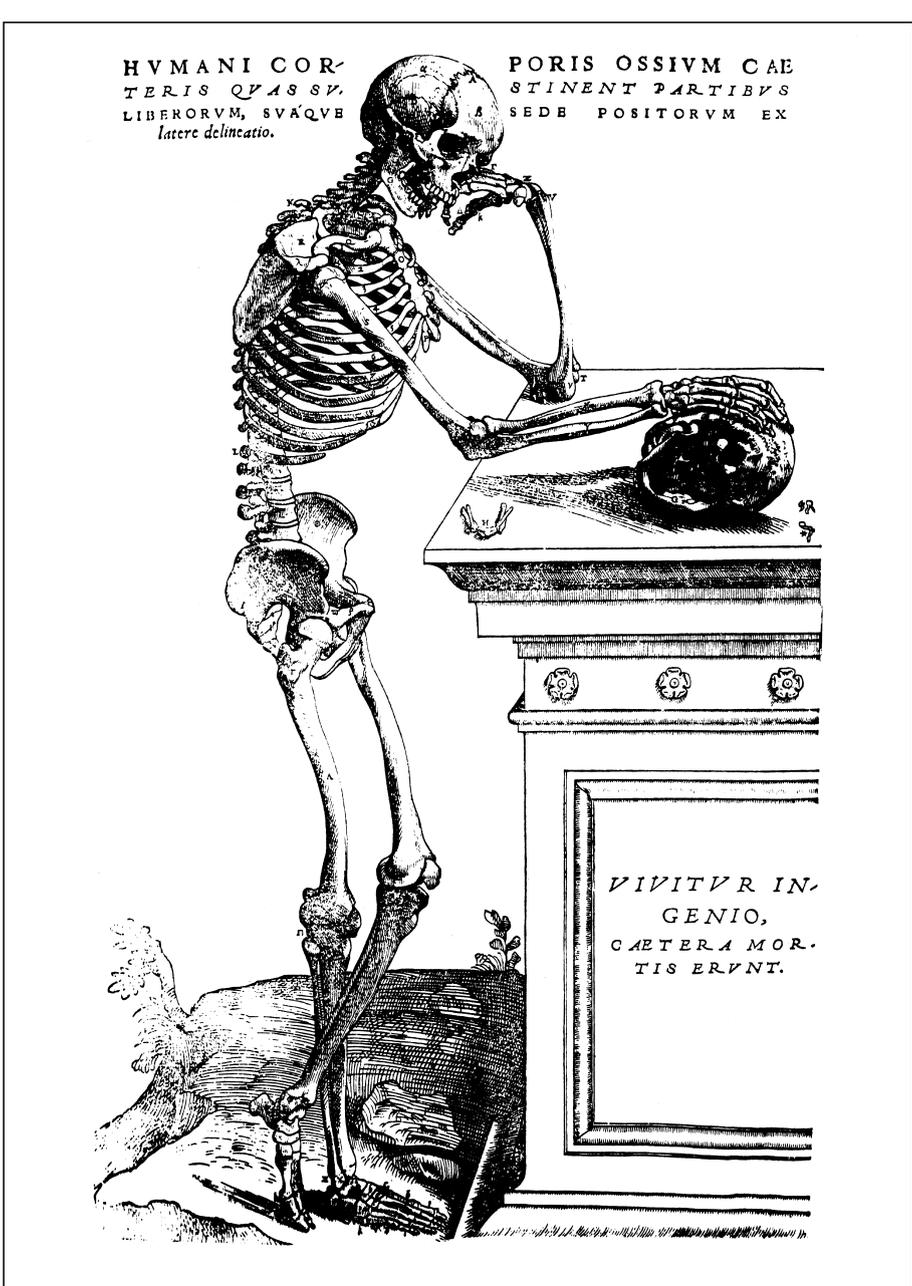


Abbildung 1: «Selbstgespräch», aus Vesalius: «De fabrica humani corporis». Die Zeichnungen in diesem Band stammen von Jan Kalkar, einem Schüler von Tizian, was ihre Überlegenheit gegenüber allen späteren anatomischen Zeichnungen erklärt.

1. Funktion und Form menschlicher Bewegung

Verhaltensweisen des menschlichen Körpers

Wie wir sitzen und gehen, so denken wir. Bei jedem Menschen können wir von der Art, wie er die Straße entlanggeht, ableiten, welche Stellung er im Leben einnimmt. Mit Erfahrung wird ein genaueres Verstehen ihn sozial und wirtschaftlich einordnen und dies mit einer vernünftigen Vorstellung von seiner Lebensauffassung. Wir beurteilen unsere Mitmenschen weitaus stärker nach der Art, wie sie ihre knöchernen Strukturen anordnen und bewegen, als uns zunächst bewusst ist.

Solange wir leben, drückt unser Körper seine Bedeutung aus und erzählt beim Stehen, Sitzen oder Gehen, im Wach- oder Schlafzustand seine eigene Geschichte. Er macht den ganzen Umfang des Leben sichtbar und spiegelt ihn im Gesichtsausdruck des Philosophen oder in den Bewegungen des Tänzers wider. Das Gesicht wird in einer oberflächlichen Welt überbewertet. Das Gedächtnis neigt eher dazu, den Körper als Ganzes zu erinnern. Nicht das Gesicht unserer Mutter oder unseres Vaters taucht vor unserem geistigen Auge auf, sondern wir sehen ihre Körper, wie sie auf einem bequemen Stuhl sitzen, beim Essen, Nähen, Rauchen oder einer anderen uns vertrauten Tätigkeit. Wir erinnern beide als Körper, die sich bewegen. Die individuelle geistige Bildergalerie weiß, wie ein Jazz-Musiker swingt, wie ein Langstreckenläufer rennt oder wie eine Tennisspielerin den Ball aufschlägt.

Unser Verhalten ist selten rational und normalerweise emotional gesteuert. Wir können kluge Worte nach reiflicher Überlegung aussprechen, die ganze Person reagiert jedoch auf Gefühle. Jeder Gedanke, wenn er durch Gefühle gestützt ist, führt zu Änderungen der Muskulatur. Elementare Bewegungsmuster sind ein biologisches, menschliches Erbe, und der menschliche Körper in seiner Gesamtheit drückt sein gefühlsmäßiges Denken aus.

Der Eroberer und der Pionier stehen aufrecht, der Gefangene und der Sklave ducken sich; der Heilige beugt sich vor, der Aufseher und der Mächtige lehnen sich zurück. Der Marschall reitet, Hamlet geht, Shylock spreizt die Finger seiner

Hände, Carmen verlagert ihr Körpergewicht auf den einen Fuß, stemmt die Hände in die Hüften und wirft einen Blick nach hinten über die Schulter. Die Haltungen der dramaturgischen Theatertradition kristallisieren die Theorie der Schauspielkunst. Durch diesen Körperausdruck lernen die jungen Schauspieler die Darstellung der epischen Qualitäten von Bewegung. Schuld, Gerissenheit, Einsicht, Gemeinheit, Ekstase und Locken drücken sich in der besonderen Anordnung der Arme, Hände, Schultern, des Nackens, Kopfes und der Beine aus. Auf diese Weise gelangen Erfahrung und Erleben vieler Jahrhunderte in die Gedankenwelt des Menschen, werden interpretiert und kommen durch Bewegungen und Körperhaltung wieder zum Vorschein. Die Persönlichkeit nimmt einen körperlichen Ausdruck an; durch Verneinung oder Bestätigung wirkt diese Form auf die Person zurück. Das ist Teil eines jeden persönlichen Lebens, das sich weiter entwickelt.

In der Art, wie wir uns ausdrücken, beeinflussen und kontrollieren der Verstand und die Gefühlswelt, das Temperament, die persönliche Erfahrung und die Vorurteile – also unser ganzes Verhaltensrepertoire – die Beziehung der einzelnen Körperteile zum Ganzen. Dieses Repertoire schließt den Antrieb für die Bewegung, die Wirkung der Nerven und Muskeln auf die Knochen, ein. Muskeln arbeiten automatisch. Wenn sie arbeiten, bewegen sie Knochen. Die Knochen des Menschen spielen eine große Rolle für sein Gefühl von Kontrolle und für das Gefühl seiner Position in der Welt. Wie er sie zentriert, das legt den Grad seiner Selbstbestimmung fest; sie sind ständig zentriert und dezentriert im Rhythmus der Bewegung. Mechanisch, physiologisch und psychologisch gesehen ist der menschliche Körper gezwungen, um sein Gleichgewicht zu kämpfen.

Physiologisch betrachtet geht alle organisierte menschliche Bewegung vom neuromuskulären System aus. Mechanisch gesehen bewegen sich einzelne Körperteile (Knochen) in einer bestimmten zeitlichen Abfolge im Raum. Die neuromuskuläre Einheit ist dabei die Antriebskraft. Physiologisch werden die Muskeln durch mannigfaltige Impulse zu einer Bewegung angeregt. Diese Impulse können von außen oder innen kommen und müssen aufeinander abgestimmt sein. Dabei beeinflussen auch psychologische Faktoren die muskuläre Antwort. Letztere muss der Situation angemessen sein.

Dr. Jesse Feiring Williams hat mir die Bedeutung dieses Mechanismus aus «Empfangen → In Wechselbeziehung bringen → Antworten» sehr verständlich erklärt: «Man kann die Intelligenz eines Individuums daran messen, wie schnell es sich in einer neuen Situation zurechtfindet».

Für jeden Reiz gibt es eine motorische Reaktion. Die Anzahl der Körperteile, die dabei einbezogen werden, hängt von der sozialen Reaktion der Person und ihrer Verhaltensstruktur ebenso ab wie von ihrer körperlichen Verfassung. Das Individuum ist eine Einheit: Intellekt, Motorik und soziales Verhalten sind untrennbare Teile eines Ganzen und wirken sinnvoll zusammen.

Die Beziehungen zwischen viszeralen, psychischen und äußeren Reizen, die der muskulären Reaktion zu Grunde liegen, beziehen den Menschen als Ganzes mit ein als Summe der Wahrnehmung von Nerven, Organen und des Lebens. Auf diesem Weg macht das neuromuskuläre System mit seiner Fähigkeit zur Erinnerung den Körper zu einem empfindsamen Instrument, der zu Fähigkeiten imstande ist, die weit über das hinausgehen, was Vernunft und bewusste Kontrolle bewerkstelligen können. Die neuromuskulären Teile von Skelett und Organen reagieren auf Grund eines gesammelten gemeinsamen Wissens, das permanent erweitert wird und dabei ständig von Gefühl und Verstand überprüft wird.

Wir erkennen nun, dass das physisch-ökonomische Verhalten des Menschen durch Systeme gesteuert wird, die sich wechselseitig ausbalancieren, wobei das Denken eine herausragende Rolle spielt. Außerdem wird uns bewusst, dass die Funktion der Struktur vorausging, ebenso wie das Denken dem Verstand und das Verb dem Substantiv. Es musste erst etwas getan werden, bevor etwas entstand. Alles bewegt sich, und im Prinzip der Bewegung drückt sich das Leben aus.

Die Wissenschaft hat es uns ermöglicht, diese Sachverhalte besser zu verstehen. Feinere Regulierungen wurden durch das Zusammenwirken unterschiedlicher Körperdrüsen möglich, durch das Studium der chemischen Zusammensetzung von Körperzellen, aber auch der Zusammensetzung und Wirkung von Nahrungsmitteln, die wir zu uns nehmen, durch den Einfluss von Temperatur und Druck, von Kleidung und Wohnumfeld, von Erholung und Aktivität und einer besseren mechanischen Balance des menschlichen Skeletts. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte können wir uns ein besseres Bild über das rhythmische und harmonische Zusammenspiel der Körpersysteme machen.

Zu diesem Wissen kommen neue Erkenntnisse über das Unterbewusstsein, das Schatzkammer und Leichenhaus der Kreativität und einer der Schlüssel zur Physiologie ist. Das Studium des Unterbewusstseins ist das «Rückgrat», zu dem wir neue physiologische Untersuchungen addieren müssen.

Wir wissen heute, dass die verfügbare menschliche Energie nur zu etwa 15 % für bewusstes Handeln, die restlichen 85 % aber zur Steuerung der vegetativen Prozesse, zu der z.B. auch der Herzschlag zählt, verwendet werden. Mit 15 % unserer Kraft verrichten wir demnach unsere Arbeit in der Welt. Werden vegetative oder unbewusste Prozesse geschwächt, erfordert dies zusätzliche Energie, die von diesen 15 % abgezweigt wird, eben dem Energieanteil, den wir für bewusste Aktivitäten einsetzen können, also für die Fähigkeiten, die uns als Mensch auszeichnen und vom Tier unterscheiden. Stress frisst diese 15 % freier Energie auf. Sie wird dann sozusagen den 85 % für unbewusste Aktivitäten zugeschlagen, wie uns Williams James in seinem Essay über Reserven menschlicher Energie darlegt.

Unsere Gewohnheiten

Die Ursachen menschlicher Gewohnheiten beruhen auf biologischen, herkunftsbedingten oder individuellen Gegebenheiten. Im Laufe seiner langen Entwicklungsgeschichte änderte sich die Struktur des menschlichen Körpers häufig und tief liegend. Zwar mag der grundlegende Entwurf in seiner heutigen Form Bestand haben, für den einzelnen Teilbereich werden aber auch in Zukunft Entwicklungen möglich sein, sei es durch Veränderung von Gewohnheiten, sei es durch gezieltes Training. Fehlerhafte Entwürfe, die durch Gewohnheiten entstanden sind, sind so korrigierbar. Sie können früher einmal richtig gewesen sein, verlieren aber ihre Nützlichkeit bei anhaltend falschem Gebrauch.

Der menschliche Körper ist denselben mechanischen Kräften ausgesetzt wie jeder andere belebte und unbelebte Körper. Unsere Knochen schützen dabei nicht nur unsere inneren Organe vor Verletzungen durch äußere Einwirkungen, sie tragen auch das Körpergewicht. Die Knochen und ihre Verbindungen bilden dabei ein System von Hebeln, durch die Richtung und Zweck einer Bewegung bestimmt werden.

Unsere Fähigkeit als Individuum selbständig zu denken ist eine vergleichsweise junge Errungenschaft. Im Gegensatz dazu verfügen unsere Körper über die Erfahrungen einer Entstehungsgeschichte, die Hunderte Millionen von Jahren länger ist. Auch wenn man diese wissenschaftliche Erkenntnis leugnet, muss man zugeben, dass jeder als Baby schon eine erstaunliche und großartige körperliche Entwicklung hinter sich hatte, bevor er gleichsam aufwachte, zu denken begann, zu erzählen und menschliche Intelligenz zu zeigen. Wenn sich dann bei kleinen Kindern die Denkfähigkeit allmählich entwickelt, richtet sich die Aufmerksamkeit weniger auf den Körper als vielmehr auf die kunstvoll entworfenen Kleider, mit denen sie ausgestattet werden.

Viele von uns fühlen ein empfindliches Unbehagen, wenn Knochen und Muskeln erwähnt werden. Vertrauensvoll, aber ohne jedes Wissen über das, was unter unserer Haut vor sich geht, gehen wir unseren täglichen Beschäftigungen nach, absolut angewiesen auf die Vorgänge im Inneren, aber mit demselben Interesse daran wie ein Hund an seiner Anatomie.

Meist sind es unangenehme Ereignisse, wie Krankheiten oder Verletzungen, die uns unseren Körper näher bringen. Das geschieht, wenn wir krank sind oder verletzt und wir uns unserer Kleider entledigen müssen, um eine Wunde, eine Verbrennung oder einen Knochenbruch sichtbar zu machen. Schon jede kleine Verletzung der Haut wirkt dann beunruhigend und unangenehm, mit Schauern betrachten wird das aus einer Wunde austretende Blut, jene scharlachrote Flüssigkeit, die überall lästige Flecken verursachen kann! Als sich das Gerücht verbreitete, dass das Gehalt eines angesehenen Arztes in Harvard erhöht werden sollte, wurde von einer gut situierten Lady aus Cambridge berichtet, die meinte, dass er es sich

nun hoffentlich leisten könne, sich nicht mehr mit dem ekelhaften Innenleben der Menschen zu beschäftigen.

Im Gegensatz z. B. zu Hunden besitzt der Mensch die schlechte Angewohnheit, einzelne Teile unabhängig vom Körper als Ganzes zu einer bestimmten Haltung zu veranlassen. Es kommt ihm nicht in den Sinn, dass Aktion und Reaktion mechanisch betrachtet ebenso auf belebte wie auf unbelebte Körper wirken.

Knochen und Stahl

Die Natur hat weise entschieden, als sie uns mit Knochen ausstattete. Härte, Steifigkeit und Elastizität machen Knochen zu dem geeigneten Werkstoff für die Aufgaben, die auf ihn warten. So besitzt er dieselbe Bedeutung wie Stahl für den Ingenieur.

Ein bewusst lebender und kluger Mensch spürt sein gesamtes lebendiges Skelett in seinem gesamten Körper, wie es von den Motoren des Körpers, den Muskeln, angetrieben wird und jederzeit bereit ist zu reagieren.

Vesalius, der in dem Jahr starb, in dem Shakespeare geboren wurde, hat das menschliche Skelett bereits vor 400 Jahren sehr gut beschrieben. Von ihm stammt die berühmte Zeichnung eines menschlichen Skeletts – vielleicht Hamlet? –, das hinter einem Stehpult steht, das Gewicht auf ein Bein verlagert, der linke Ellbogen liegt auf dem Tisch, der ganze Körper ist etwas nach vorn geneigt und der Kopf auf die linke Hand gestützt. Die sorgfältige Nachbildung von Details der das Skelett umgebenden Natur, wie Blättern, Sträuchern und Steinen, deutet die Entfaltung der Wissenschaft an. Haltung und Tisch weisen auf das unsichtbare Reich des Denkens. Es sieht so aus, als würde das Skelett leben, könnte sich in jedem Augenblick umdrehen und davongehen, den Kopf gedankenschwer. Für den Betrachter ist es fast unmöglich, sich der Vorstellung zu entziehen, dass es sich bei dem Skelett um eine Person handelt!

Der Schlag des Herzens und das Strömen des Blutes durch unseren Körper sind für uns Sinnbilder des Lebens. Dabei wird leicht vergessen, dass unsere Knochen eine wichtige Rolle bei der Produktion der Milliarden roten Blutkörperchen im Körper des erwachsenen Menschen spielen. Eine einzelne Zelle lebt dabei nur ungefähr 120 Tage, doch das Knochenmark sorgt für den notwendigen Nachschub. Knochen leben. Wir sollten uns ihrer Lebendigkeit bewusst sein, wenn wir sie und das sie umgebende weiche Körpergewebe verstehen wollen. Erst dann können wir die Bedeutung ihrer Funktion für den ganzen Körper würdigen. Neben der Produktion roter Blutkörperchen tragen sie das Körpergewicht und schützen gemeinsam mit anderen Körperstrukturen unsere Körperhöhlen. Ebenso wie die meisten anderen Körpergewebe können sich Knochen erneuern, was eine einzigartige Fähigkeit aller lebenden Zellen ist.

Unsere Knochen schützen und tragen uns nicht nur, sie gehören auch zu dem sinnvollen Hebelsystem, das unseren Bewegungsapparat ausmacht. Die Bewegungen von Knochen werden durch das neuromuskuläre System gesteuert. Zwar können wir einzelne Bewegungen unseres Bewegungsapparates bewusst beeinflussen, doch ist es uns unmöglich, das neuromuskuläre System direkt zu kontrollieren.

Sobald wir Arme oder Beine bewegen, sind davon mehrere miteinander in Verbindung stehende Knochen betroffen, die nach einem genauen Plan komplex zusammenarbeiten. Die Weisheit dieser Zusammenarbeit liegt dabei nicht so sehr in dem Befehl, der die Bewegung auslöst, als viel mehr in dem Zusammenwirken der unterschiedlichen Systeme. Dabei stellt das neuromuskuläre System die Weichen, um optimale Abläufe zu erreichen.

Setzt z. B. jemand ein Gewehr an, um zu zielen, müssen zahlreiche Reflexe aufeinander abgestimmt werden. Sie werden eingeleitet, sobald er die Entscheidung trifft, ob und auf was er schießen will. Er nimmt eine bestimmte Körperposition ein, balanciert das Gewehr auf Schulter und Wirbelsäule aus und erfasst mit den Augen das Ziel. Um dann letztendlich den Abzug erfolgreich zu betätigen, muss er ruhig stehen und seine Atmung verändern. Diese gelernten Reflexe stehen klar im Einklang mit den Prinzipien sowohl der Mechanik als auch einer organischen Funktion. Um beim Beispiel von oben zu bleiben: Das Auge muss fokussiert sein, das Gewicht des Kopfes ausbalanciert, um mit sicherem Arm ruhig in seiner Position zu verharren. Der Rückstoß des Schusses muss von der Wirbelsäule und den Beinen aufgefangen werden. Alle diese Körperreaktionen erfolgen automatisch. Man kann also sagen, dass die Geschicklichkeit des Entenjägers letztlich von einer sinnvollen Koordinierung chemischer, mechanischer und organischer Bedingungen abhängt. Selbst die Entscheidung über das Auslösen des Schusses hängt teilweise von seinem kinästhetischen Sinn ab, den er als «das Gefühl, dass er bereit ist» bezeichnen würde. Die Freiheit seines Entschlusses ist auch von seinem Optimismus abhängig. Ist der Körper in einer guten Verfassung und unbeeinträchtigt von Ängsten und Unsicherheit, wird die ins Korn genommene Ente kaum Chancen haben, davonzukommen.

Stimmen alle Bedingungen, dann «geschieht es einfach», ebenso wie es schneit oder regnet, weil die richtigen Bedingungen erfüllt sind. Die Bewegung ist das Resultat von fundamentalen menschlichen Prinzipien und Ausdruck eines dynamischen Lebensmechanismus. Ohne die dabei wirkenden Gesetze zu verstehen, könnten wir Bewegung nicht verstehen.

Keine dieser Reaktionen wäre ohne die Vielfalt der verschiedenen Funktionseinheiten des menschlichen Skeletts möglich. Form und Größe dieser Funktionseinheiten sind den gestellten Anforderungen genau angepasst, um dem Organismus eine optimale Bewegung zu ermöglichen.

Das menschliche Skelett ermöglicht viele Dinge. Dabei fällt es schwer, einzelne Teile zu isolieren und ihnen spezielle Aufgaben zuzuordnen. Entstehung, Wachstum und Funktion sind zu eng miteinander verwoben.

Unsere Knochen haben vier Aufgaben:

- Als Organ bilden sie Blutzellen. Die Knochen leben also!
- Sie besitzen eine Schutzfunktion und bilden dazu für Gehirn, Rückenmark, Herz und Lunge sowie die Eingeweide knöcherne Umhüllungen. Sie sind also sichere Behälter für empfindliche Körperteile.
- Sie stützen den Körper, tragen sein Gewicht und gestalten seine äußere Form.
- Gemeinsam mit den Muskeln bilden sie den Bewegungsapparat.

In der Evolution nehmen die Anforderungen, um eine Aufgabe zu erfüllen, Form an oder werden mit anderen Worten zu einer Struktur.

Das Skelett ist ein mechanisches Wunderwerk. Die Linien der mechanischen Kräfte gehen durch die Knochen und vermitteln dabei das Gefühl der ihnen innewohnenden Bewegung. Die «Lebensmaschine» bewegt sich!

Die Bedeutung des Gleichgewichts

Der menschliche Körper hat ein fundamentales Bedürfnis nach Ausgleich der auf ihn einwirkenden Kräfte. Eine strukturelle Unterstützung mit der kleinsten Belastung für die einzelnen Körperteile ist dabei eine Frage der Anpassung des Körpers an die äußeren, vorzugsweise mechanischen Kräfte.

Ein vorhandenes Gleichgewicht entlastet Nervenabschnitte, die für die Muskelsteuerung zuständig sind. In der Folge werden bessere Bedingungen für andere geistige oder körperliche Aktivitäten des Menschen geschaffen.

Der Übergang des Menschen zur aufrechten Haltung als Ergebnis der Evolution erhöhte seine Bewegungsfreiheit und gab ihm die Möglichkeit, seine Umgebung so weitgehend zu beherrschen, wie dies zuvor bei keinem anderen Lebewesen der Fall gewesen war. In mechanischer Hinsicht hat die aufrechte Haltung allerdings auch Nachteile. Die entstehende Körperstruktur weist Schwachpunkte auf, die sich auf die Versorgung und den Schutz vitaler menschlicher Prozesse auswirken können. Um dem zu begegnen, helfen uns Kenntnisse, wie wir aus mechanischer Sicht vor allem die Körperteile einsetzen, die der aufrechten Haltung dienen. Wie wirkt sich der Zug der Schwerkraft auf die Krümmungen der Wirbelsäule und auf die flachen Körperwände aus, die die Vorder- und Rückseite im Gleichgewicht halten, und wie auf die Aufrichtung des menschlichen Körpers? Wie funktioniert dies alles unter dem Druck der Schwerkraft und wie verhält sich dabei das Skelett, das das Gewicht trägt? Wo verlaufen die Kraftlinien, die kontinuierlich auf die Knochen einwirken? Diese und weitere Fragen müssen wir uns stellen, wenn wir das mechanische Problem von Haltung und Bewegung beim aufrechten Gang lösen wollen.

Die Form folgt der Funktion

Funktion führt zur Form. Nach diesem Prinzip sind unzählige Lebensformen entstanden, vom Einzeller bis zu höchst komplexen pflanzlichen und tierischen Organismen. Um die Herkunft der Struktur oder Form eines Lebewesens zu klären, muss man die Bedingungen kennen lernen, denen dieses Lebewesen im Kampf ums Überleben ausgesetzt ist. Eine Kraft trifft auf eine Gegenkraft, und die Struktur entwickelt sich im Gleichgewicht der Kräfte.

Es gibt Leben im Wasser und auf dem Land und dementsprechend gibt es auch verschiedene Ausprägungen beim Körperbau von Wirbeltieren. Fische werden durch die Schwerkraft nicht belastet, sondern scheinen eher von ihr zu profitieren, da sie von allen Seiten einen gleichmäßigen Druck auf ihre Körper erzeugt. Doch der Fisch hat ganz sicher seine eigenen Probleme mit der Schwerkraft bei der Bestimmung seiner Position und der Ausrichtung seiner Bewegung. Er begegnet diesen Problemen mit den verschiedensten, faszinierenden Lösungen. Da sein Körpergewicht und das Gewicht des vom seinem Volumen verdrängten Wassers im Einklang stehen, kann der Fisch nicht sinken. Bei Landtieren ist das vom Körper verdrängte Luftvolumen dagegen leichter als das Körpergewicht. Es bleibt damit auf dem Boden und stemmt sich gegen die auf ihn wirkende Schwerkraft hoch, die es sonst auf den Boden ziehen würde. Als die ersten Landtiere das Wasser verließen, mussten sie zwei Veränderungen vornehmen: Sie mussten der Schwerkraft auf einem harten statt in einem weichen Medium entgegenwirken und Sauerstoff aus einem Gas statt aus einer Flüssigkeit aufnehmen. Da die Schwerkraft senkrecht auf den Körper einwirkt, mussten vertikale Vorrichtungen zur Abstützung des Körpergewichts getroffen werden, um ihn frei und schnell bewegen zu können. Außerdem mussten Möglichkeiten geschaffen werden, um Luft in den Körper zu leiten, um dort Sauerstoff zu entnehmen und den Zellen in ihrer flüssigen Umgebung zur Verfügung zu stellen. Ersteres waren die Ausgangsbedingungen, die zur Entstehung der menschlichen Gliedmaßen führten, und Letzteres machte Lungen erforderlich.

Im Gegensatz zu Einzellern verläuft die Atmung als Austausch von Sauerstoff und Kohlendioxid sowohl beim Fisch als auch beim Menschen in zwei Phasen. In einzelligen Organismen findet der Austausch direkt durch Diffusion über die Zelloberfläche statt, bei Mehrzellern bringen bestimmte Zellen den Sauerstoff zu allen anderen und entfernen deren gasförmige Abfallprodukte des Stoffwechsels. Der Prozess läuft demnach in zwei Stufen ab:

- **äußerer Atmungsvorgang:** Hier erfolgt der Gasaustausch mit dem externen Medium, also der umgebenen Luft bzw. dem umgebenden Wassers. Der Transport des Gases geschieht über Körperflüssigkeiten wie Blut.

- innerer Atmungsvorgang: Dabei erfolgt ein Austausch zwischen Gewebezellen und der sie umgebenden Körperflüssigkeit mithilfe von Diffusion, wie wir sie vom Einzeller kennen.

Der französische Chemiker Lavoisier, der die Bedeutung des Sauerstoffs für den Körper erkannte, bezeichnete die externe als die primäre und die interne als die sekundäre Atmung.

Die Atmungsorgane von Mensch und Fisch unterscheiden sich in ihrer Funktion grundlegend. Fischkiemen besitzen eine große Oberfläche und sind stark durchblutet. Das Blut entnimmt dem vorbeiströmenden Wasser den Sauerstoff und gibt das aus den Gewebezellen stammende Kohlendioxyd ab. Eine Lunge besteht aus einer Vielzahl von Lungenbläschen, in denen die Luft beim Atmungsvorgang durch eine aktive Bewegung ausgetauscht wird. Das unmittelbar unter der Oberfläche der Bläschen zirkulierende Blut entnimmt dabei der Luft den Sauerstoff und gibt im Austausch das vom inneren Atmungsvorgang stammende Kohlendioxyd an sie ab.

Der Wechsel der Lebewesen vom Wasser zum Land geschah nicht plötzlich, sondern in mehreren Schritten. In der Übergangszeit entstanden Tiere, die sowohl an Land als auch im Wasser leben konnten, die so genannten Amphibien. Manche von ihnen leben im Schlamm. Ihre Atmung funktioniert in der Luft und im Wasser. Sie besitzen Kiemen und rudimentäre Lungen oder ihre Haut ist so beschaffen, dass sie der Atmung dienen kann. Andere Tiere, wie Frösche oder Kröten, leben zunächst als Kaulquappen im Wasser, um später ihre Kiemen und Schwänze zu verlieren und als Landtiere mit Lungen und Beinen zu leben.

Im Grunde hat der an Land lebende Organismus seine Abhängigkeit vom Wasser in Bezug auf lebensnotwendige Vorgänge nie verloren. Er mag sich als Tier oder Pflanze noch so weit vom Wasser entfernen und trägt es trotzdem in Form der Gewebeflüssigkeiten mit sich, ohne die die Zellen nicht leben können. Siebzig Prozent des menschlichen Körpers bestehen aus Wasser und eine nennenswerte Absenkung dieses Anteils führt zu ernsthaften Konsequenzen.

Bewegungsapparat und Atmungssystem als typisches Merkmal eines Lebewesens entwickelten sich gleichzeitig, als die Wirbeltiere das Wasser verließen. Beim Wachstum und der Weiterentwicklung der einzelnen Arten und ihrer Körperfunktionen blieben diese beiden Mechanismen stets eng miteinander verbunden. Mechanische und Nervenverbindungen zwischen dem Bewegungsapparat und dem Atmungssystem belegen dies ebenso wie die Verbindung beider zum Gefäßsystem, welches das Blut vom Herz zur Lunge bringt, damit in Kontakt mit der Luft und dann das Blut zurück zum Herzen leitet, angereichert nun mit Sauerstoff. Der Teil der menschlichen Muskulatur und die Anteile seines Skeletts, die die Wirbelsäule in ihrer äußeren Form erhalten und damit die aufrechte Haltung des Körpers gewährleisten, sind eng mit den Knochen und Muskeln des Atmungsapparates verbunden (**Abb. 2**).

Landlebewesen mussten nicht nur lernen, Luft statt Wasser zu atmen, sondern auch ihr Gewicht zu tragen. Das hieß, es war eine Anpassung auf einen reduzierten Druck der Schwerkraft von oben und von der Seite notwendig. Außerdem mussten sie das Eigengewicht ihrer Körperteile tragen, und der Körper musste sich auf einen verstärkten, vom Boden ausgehenden Zug einrichten. Dies führte zur Ausbildung von Gliedmaßen und einer verbesserten Stützstruktur des Körpers aus

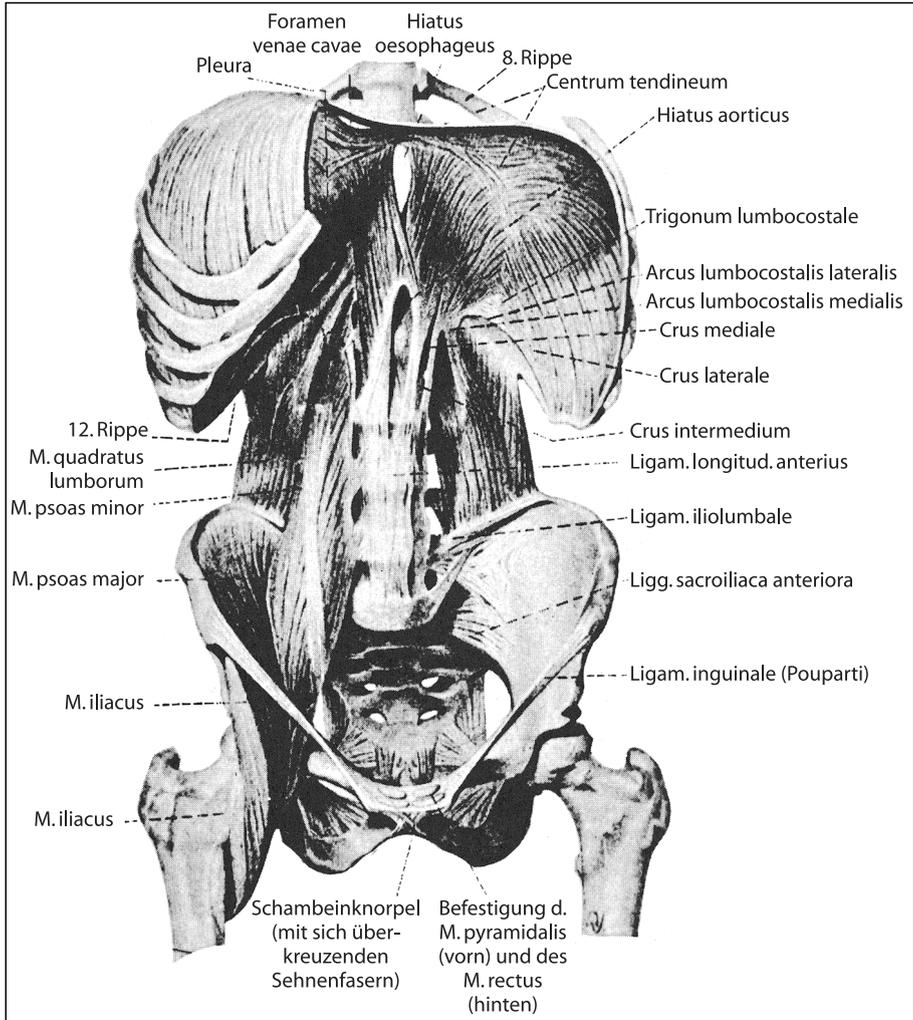


Abbildung 2: Hintere Bauchwand und Zwerchfell. Naturgetreue Darstellung der Position der Knochen und der Form der Muskeln. Auf der rechten Seite ist ein Teil des Zwerchfells im unteren Rippenbereich entfernt, um den Ursprung von Psoas und Quadratus lumborum zu zeigen (Braus).

stabilerem Knochenmaterial. Die Gliedmaßen entwickelten sich aus den Flossen. Eine dazwischen liegende Entwicklungsstufe erscheint dabei besonders interessant: Bei den Fischen, die sich zur Küste hin orientierten und dort im Schlamm lebten, entstanden fleischige Flossen. Diese Quastenflosser waren Zeitgenossen des Lungenfisches, der als erster Fisch eine luftatmende Lunge besitzt, von der man annimmt, dass sie der Vorläufer der heutigen Lungen von Landlebewesen ist.

Es gab zwei hauptsächliche Anforderungen, die das Leben außerhalb des Wassers an das Skelett stellte: Zum einen musste es leicht genug sein, um mit seinem Gewicht die Beweglichkeit nicht einzuschränken; zum anderen musste es über ausreichend Oberfläche verfügen, um die für die Bewegung verantwortliche Muskulatur daran befestigen zu können. Die einzelnen Wirbeltierarten nutzen unterschiedliche Methoden der Fortbewegung. Entsprechend unterschiedlich sind Wirbelsäule und äußere Gliedmaßen geformt und Letztere mit dem Körper verbunden. Eine Schlange bewegt sich ohne Arme und Beine auf dem Boden. Ihre sehr biegsame Wirbelsäule erlaubt kleine, seitliche Bewegungen, die durch die Rippen weitergeleitet werden. Die Effektivität dieser Bewegung wird dabei durch den Reibungswiderstand zwischen dem Untergrund und den rechteckigen Schuppen bestimmt, die schräg zur Körpermitte auf der Bauchseite der Schlange angebracht sind. Die Haut von Reptilien ist meist sehr widerstandsfähig, fast zäh und manchmal geradezu hart wie bei den Schildkröten, und da die Beine den Körper nur wenig anheben, ist ein Hautpanzer nötig zum Schutz gegen Stöße vom Boden.

Obwohl Vögel und Säugetiere von den Reptilien abstammen, unterscheiden sie sich grundlegend im Aufbau ihres Stütz- und Bewegungsapparates. Der Vogel, der sich in die Luft erhebt, tauschte eine flexible gegen eine starre Wirbelsäule und wählte leichte, harte Hohlknochen. Unterarme, Schlüsselbeine und Brustbein sind sehr stark ausgeprägt. Das große Brustbein dient zur Aufhängung der mächtigen Flügelmuskeln und ist damit Ausgangspunkt der Kraft für die Flügelbewegung. Demgegenüber wirken die Beine wie eine unbedeutende Ergänzung.

Säugetiere erhoben sich auf allen Vieren vom Boden, wobei sie zunächst Arme und Beine zur Fortbewegung benutzten. Die Vorfahren der Menschen und Affen, der so genannten Primaten, verließen den Boden und lebten in den Bäumen. Dies erforderte eine spezielle Fortbewegungsart, die zu einem abweichenden Gebrauch von Händen und Beinen führte. Arme und Hände zogen den Körper von Ast zu Ast, der dabei häufig in vertikaler Position gehalten wurde. Dabei dienten die dann unten liegenden Gliedmaßen zum Klettern und ausruhen.

Die am Boden lebenden Vierbeiner setzten häufig den Kopf als Werkzeug ein, eine Aufgabe, die die in den Bäumen lebenden Tiere mithilfe ihrer vorderen Gliedmaßen lösten. Klettern und Greifen erweiterten die Gebrauchsfähigkeit der Hände. Dadurch wurde letztlich der Kopf von den Tätigkeiten des Zupackens und Haltens befreit und es ihm ermöglicht, sich in zunehmendem Maße mit Schauen, Schmecken und Riechen zu beschäftigen. So konnten die Tiere in Ruhe nach