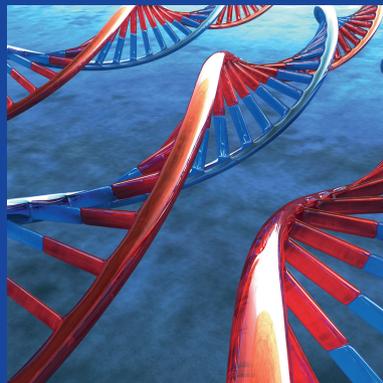


Wildor Hollmann ■ Heiko K. Strüder

5. Auflage



Sportmedizin

Grundlagen für körperliche Aktivität,
Training und Präventivmedizin

W. Hollmann • H. K. Strüder

Sportmedizin

5. Auflage

This page intentionally left blank

Sportmedizin

Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin

Wildor Hollmann
Heiko K. Strüder

Unter Mitarbeit von Julia Diehl
und Christos V. M. Tagarakis

5., völlig neu bearbeitete
und erweiterte Auflage

Mit 728 Abbildungen
und 91 Tabellen

Univ.-Prof. mult. Dr. med. Dr. h. c. mult. Wildor Hollmann

Lehrstuhl für Kardiologie und Sportmedizin (em.)
Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin
Deutsche Sporthochschule Köln
50933 Köln

Univ.-Prof. Dr. Sportwiss. Heiko K. Strüder

Lehrstuhl und Leitung
Institut für Motorik und Bewegungstechnik
Deutsche Sporthochschule Köln
50933 Köln

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Besonderer Hinweis:

Die Medizin unterliegt einem fortwährenden Entwicklungsprozess, sodass alle Angaben, insbesondere zu diagnostischen und therapeutischen Verfahren, immer nur dem Wissensstand zum Zeitpunkt der Drucklegung des Buches entsprechen können. Hinsichtlich der angegebenen Empfehlungen zur Therapie und der Auswahl sowie Dosierung von Medikamenten wurde die größtmögliche Sorgfalt beachtet. Gleichwohl werden die Benutzer aufgefordert, die Beipackzettel und Fachinformationen der Hersteller zur Kontrolle heranzuziehen und im Zweifelsfall einen Spezialisten zu konsultieren. Fragliche Unstimmigkeiten sollten bitte im allgemeinen Interesse dem Verlag mitgeteilt werden. Der Benutzer selbst bleibt verantwortlich für jede diagnostische oder therapeutische Applikation, Medikation und Dosierung.

In diesem Buch sind eingetragene Warenzeichen (geschützte Warennamen) nicht besonders kenntlich gemacht. Es kann also aus dem Fehlen eines entsprechenden Hinweises nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.

Das Werk mit allen seinen Teilen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert werden.

© 1976, 1980, 1990, 2000 und 2009 by Schattauer GmbH, Hölderlinstraße 3,
70174 Stuttgart, Germany
E-Mail: info@schattauer.de
Internet: <http://www.schattauer.de>
Printed in Germany

Lektorat: Dr. A. Gesien

Umschlagabbildung: © Vasilij Yakobchuk – Fotolia.com,

© Sportlibrary – Fotolia.com, © ktsdesign – Fotolia.com

Satz: am-productions GmbH, Wiesloch

Druck und Einband: AZ Druck und Datentechnik GmbH, Kempten/Allgäu

Vorwort zur 5. Auflage

Sportmedizin stellt das Bemühen der theoretischen und praktischen Medizin dar, den Einfluß von Bewegung, Training und Sport sowie den von Bewegungsmangel auf den gesunden und kranken Menschen jeder Altersstufe zu analysieren, um die Befunde der Prävention, Therapie und Rehabilitation sowie dem Sporttreibenden dienlich zu machen. Diese Definition des Fachgebietes Sportmedizin erfolgte 1958 anlässlich der Gründung des Instituts für Kreislaufforschung und Sportmedizin (Deutsche Sporthochschule Köln in Zusammenarbeit mit der Medizinischen Universitätsklinik Köln) und wurde 1977 vom Weltverband für Sportmedizin offiziell übernommen.

Im Vordergrund von einschlägiger Forschung, Lehre und Praxis steht die **Präventivmedizin**. Sportmedizin verstand sich von jeher als ihre Speerspitze. Es folgen die Bewegungstherapie, Rehabilitation mittels körperlichem Training und die alles verbindende Leistungsdiagnostik. Letztere hat seit vielen Jahren die alleinige Labordiagnostik verlassen und ist zu einer zusätzlichen Felddiagnostik übergegangen. Die **Trainingslehre** sieht sich dabei als ein verbindendes Glied zwischen zahlreichen wissenschaftlichen und sportpraktischen Disziplinen. Die Innere Medizin mit ihren vielen Teilgebieten, insbesondere die Kardiologie, ist an ihr ebenso interessiert wie die Orthopädie, die Pädiatrie, die Gerontologie, die Gynäkologie, die Leistungsphysiologie, die Biochemie, die Biomechanik, die Psychologie und die Pädagogik. Heute selbstverständlich gewordene Behandlungsmethoden und ihre wissenschaftlichen Grundlagen z. B. zur Vorbeugung und Sekundärprävention des Myokardinfarkts in Gestalt von gezielter Körperbewegung bis hin zur Trainingsbehandlung, Bewegungstherapie und Rehabilitation fußen auf Erkenntnissen sportmedizinischer Forschung. Das gilt in besonderem Maße für die Prävention gegenüber Herz-Kreislauf- sowie Stoffwechselkrankheiten und zur Vermeidung von altersbedingten Leistungsverlusten körperlicher und geistiger Art.

Das Bedürfnis nach Zusammenfassung sportmedizinischer Grundlagenkenntnisse ist in der Ärzteschaft in den letzten drei Jahrzehnten erheblich gewachsen. Standen im 19. und über die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts hinaus anatomische und physiologische Grundlagenkenntnisse im Vordergrund des Interesses, so

sind diese Schwerpunkte heute durch präventive und rehabilitative Überlegungen und Maßnahmen klinischer Art abgelöst worden. In den 50er und 60er Jahren des 20. Jahrhunderts konnten die gesundheitlich bedrohlichen Auswirkungen von Bewegungsmangel (**Hypokinetosen**) erforscht werden. Diese vornehmlich sportmedizinischen Erkenntnisse bewirkten in der zweiten Hälfte der 1960er sowie in den 1970er Jahren die wohl *größte therapiebezogene kardiologische Revolution des 20. Jahrhunderts, die Umkehr in der Behandlung des Herzinfarktpatienten von absoluter Bettruhe mehrwöchiger Dauer hin zur Frühmobilisierung, Bewegungstherapie und körperlichem Training in der Rehabilitation*. Eine vergleichbare Revolution in der Kurortmedizin war die Folge. Ab Ende der 1970er Jahre konnten epidemiologische Studien die experimentell fundierten sportmedizinischen Laborforschungen voll bestätigen. Während noch in den 1950er Jahren körperliche Aktivität, Training und Sport klinisch nicht existent waren, zählen sie heute z. B. aus der Sicht der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zu den wichtigsten Faktoren zur Gesundheitserhaltung und Leistungsförderung.

Dementsprechend nahm das Interesse von Ärzten und Pädagogen am Einsatz von Übung, Training und Sport zu. Heute reicht die **Anwendungsskala der Trainingslehre** vom Schulsport bis zum Alterssport, vom Sport als Hobby oder als Mittel der Gesundheitserhaltung bis zum Hochleistungssport. Allen unterschiedlichen Motivationen und Leistungsvoraussetzungen ist eines gemeinsam: *Die Trainingsplanung bemüht sich, mit einem Minimum an Zeitaufwand und an Belastung ein Maximum an Effekt zu erzielen*. Dafür reichen die Erfahrungen des Trainers oder des Sportlers selbst genauso wenig aus wie die sportmedizinischen Kenntnisse, die zum medizinischen Staatsexamen vom angehenden Arzt verlangt werden. Gerade aber der Arzt wird sich zukünftig immer mehr vor einschlägige Probleme gestellt sehen. Der Einsatz von Übung, Training und Sport bedarf in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und besonders von Gesundheits- und Leistungszustand qualitativ und quantitativ genau abgewogener Überlegungen ähnlich denen beim gezielten Einsatz eines Medikaments. Der gegebenenfalls völlig andersartige Einfluß von qualitativ unterschiedlichen Bewe-

gungs- und Trainingsmethoden setzt auf der Basis der motorischen Beanspruchungsformen die Kenntnis von deren akuten und chronischen Auswirkungen auf den gesunden und kranken Menschen vom Kindes- bis zum Greisenalter voraus.

In Zukunft wird es weniger darauf ankommen, eine Krankheit zu heilen – das wird gewissermaßen eine Selbstverständlichkeit sein – als vielmehr das Auftreten einer Erkrankung zu verhindern. Der Fortschritt in der Erforschung von Risikofaktoren läßt die berechtigte Hoffnung zu, daß schon in naher Zukunft die Vermeidung von Risikofaktoren – nicht zuletzt auch durch Anwendung von Genforschungsergebnissen – im Zentrum ärztlicher und pädagogischer Handlungsweisen stehen wird.

Die medikamentösen Fortschritte durch die pharmakologische Forschung und die pharmazeutische Produktion waren im 20. Jahrhundert bewundernswert. Dennoch – gäbe es ein Medikament, welches wie ein geeignetes körperliches Training folgende Eigenschaften in sich vereinigen würde: den Sauerstoffbedarf des Herzens senkend, antiarrhythmisch und antihypertensiv wirkend, die Fließeigenschaften des Blutes verbessernd, Arterioskleroseentwicklungen vermindern, Hämodynamik und Metabolismus durch eine Vielzahl von physikalischen und chemischen Adaptationen bis in ein hohes Alter positiv beeinflussend, Psyche und Wohlbefinden anhebend, aber ohne unphysiologische Nebenwirkungen – mit welchen Worten würde ein solches Präparat angepriesen werden? Vermutlich käme ihm die Bezeichnung **»Medikament des Jahrhunderts«** zu.

Der Patient seinerseits muß lernen, nicht primär nach der Tablette des Arztes zu verlangen, sondern die Gesundung durch Eigenaktivität zu erreichen. Das gilt für die Einstellung gegenüber Bewegungsmangel ebenso wie hinsichtlich Ernährungsgewohnheiten, Genußmittel und der Disstreß-Handhabung. Schon Demokrit erklärte im 5. Jahrhundert vor Christus: »Die Menschen erbitten sich Gesundheit von den Göttern. – Daß sie aber selbst Gewalt über ihre Gesundheit haben, wissen sie nicht.«

Es ist verwunderlich, daß sogar in jüngsten medizinischen Fachbüchern unverändert fast nur der kranke Mensch im Vordergrund des Interesses steht. Das Alltagsleben – Beruf, Freizeit, Sport – stellt immer noch ein Stiefkind selbst in hervorragenden Lehrbüchern für Innere Medizin oder Physiologie dar, indem der Mensch nur unter Ruhebedingungen oder als Therapieziel betrachtet wird. Dabei stellt diese Situation nur einen schmalen Sektor der natürlichen Lebensbedingungen eines Noch-Gesunden dar.

Dieses bereits 1976 in seiner 1. Auflage erschienene Buch unterscheidet sich in zwei Hauptpunkten von üblichen Lehrbüchern vergleichbarer Art:

- Die übergeordnete Gliederung ist nicht, wie sonst üblich, organbezogen, sondern stellt die Funktion an die Spitze (Unterteilung nach motorischen Beanspruchungsformen).
- Trotz seines Umfangs ist es kein »Viel-Autoren-Buch«, sondern alle Kapitel sind von denselben Verfassern geschrieben. Das ergibt eine Einheitlichkeit in Gedankenführung und Ausdrucksweise, wie sie in Büchern mit verschiedenen Autoren nicht gegeben sein kann.

Obwohl inhaltlich interdisziplinärer Natur, stehen themenbezogene physiologisch-internalistische Aspekte im Mittelpunkt. Bewußt ist das orthopädisch-traumatologische Gebiet aufgrund seines

Umfangs und seiner einschlägigen umfangreichen Lehrbücher nicht berücksichtigt. Wir haben uns auch in dieser Auflage um die wichtigste internationale Literatur bemüht, sind uns aber der Unzulänglichkeit einer kompletten Aufgabenerfüllung in dieser Hinsicht bewußt. Das interdisziplinäre Gebiet der Sportmedizin umfaßt fast alle medizinischen Fächer unter den Gesichtspunkten von körperlicher Aktivität und Inaktivität. Dadurch ergab sich im vergangenen Vierteljahrhundert ein explosives Umfangswachstum, welches die Konzentration auf Schwerpunkte erfordert. Es wurde aber Wert auf die Erhaltung von klassischen Publikationen aus früheren Jahrzehnten gelegt, soweit die betreffenden Arbeiten durch neue Veröffentlichungen inhaltlich nicht überholt waren. Hierdurch können sich auch historische Perspektiven eröffnen.

Von der 1. Auflage dieses Buches im Jahre 1976 bis 1994 beteiligte sich mein langjähriger Freund Univ.-Prof. Dr. med. Theodor Hettinger, Ordinarius für Arbeitsmedizin in Wuppertal, an der Gestaltung. Er hat dieses Buch geliebt, und keine Mühsal war ihm zu beschwerlich, wenn es um Quellenstudium, Tabellen, Graphiken und Literaturzusammenstellungen ging. Ich danke ihm noch heute dafür. 1994 ging er für immer von uns.

Ein erheblicher Teil der diesem Buch zugrundeliegenden Forschungsergebnisse entstammt dem Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin der Deutschen Sporthochschule Köln. Deshalb danken wir allen Ärzten, medizinisch-technischen Assistentinnen und Assistenten und den übrigen Mitarbeitern. Das gilt insbesondere für die Kollegen und Professoren Heinz Liesen, der mich am längsten begleitete, Richard Rost †, der als mein langjähriger Mitarbeiter und Oberarzt ab 1990 mein Nachfolger als Ordinarius wurde und 1998 verstarb, Manfred Hartung †, Bertin Dufaux, Hermann Heck, Alois Mader, Klaus Völker, Karl Weber, Elke Zimmermann, Petra Platen, Ulrich Hartmann, Hans-Georg Predel, Wilhelm Bloch, Birna Bjarnason-Wehrens, der Privatdozentin Christine Graf sowie Dr. Dieter Lagerström.

Das Buch wendet sich an alle Ärzte, die mit präventivmedizinischen, leistungsdiagnostischen, bewegungstherapeutischen und rehabilitativen Maßnahmen befasst sind. Im einzelnen werden Sportärzte, Kliniker und Sanatoriumsärzte, Arbeitsmediziner, Kur- und Badeärzte, aber auch Medizin- und Sportstudenten angesprochen. Für letztere werden Grundkenntnisse im Bereich von Physiologie und Anatomie sowie von elementarer Physik und Chemie vorausgesetzt.

Für die materielle Hilfestellung in Forschungsprojekten gilt der Dank vornehmlich dem Bundesinstitut für Sportwissenschaft, ferner Herrn Prof. h. c. Dr. h. c. mult. Berthold Beitz als Vorsitzender der Krupp von Bohlen und Halbach-Stiftung, Herrn Dr. Wolters für die Oertel-Stiftung, dem Club of Cologne, der Fraunhofer-Gesellschaft, der Deutschen Forschungsgemeinschaft und Herrn Hans Eckloff †, Bad Kissingen.

Der weitere Dank gilt dem F. K. Schattauer Verlag, der sich in bewährter Weise auch dieser 5. Auflage angenommen hat. Besonderer Dank gebührt den Herren Dipl.-Psych. Dr. med. Wulf Bertram, Dieter Bergemann sowie der Lektoratsleiterin Frau Dr. Petra Müller und der Lektorin Frau Dr. Annette Gesien. Sie haben sich in mühevoller Kleinarbeit um dieses Werk verdient gemacht.

Köln, im Winter 2008

Univ.-Prof. mult. Dr. med. Dr. h.c. mult. Wildor Hollmann

2.2 Flexibilität	159	2.5 Ausdauer	267
Definition und leistungsbegrenzende Faktoren	159	Charakteristik	267
Methoden der Flexibilitätssmessung	160	Lokale Muskelausdauer	268
Verbesserung der Flexibilität	161	Definitionen	268
Zusammenfassung	165	Lokale aerobe Muskelausdauer	268
2.3 Kraft	165	Lokale aerobe dynamische Muskelausdauer	268
Charakteristik	165	Meßmethodik der lokalen aeroben dynamischen Ausdauer	269
Physiologisch-morphologische Grundlagen zur Muskelkraft	167	Physiologische Grundlagen zur Verbesserung der lokalen aeroben dynamischen Muskelausdauer	270
Vorhandene Kraftbegriffe	168	Befunde zur Verbesserung der lokalen aeroben dynamischen Muskelausdauer	285
Statische Kraft	170	Lokale aerobe statische Muskelausdauer	290
Definition, leistungsbegrenzende Faktoren, Größenordnung	170	Lokale anaerobe Muskelausdauer	291
Methoden der Kraftmessung	177	Lokale anaerobe dynamische Muskelausdauer	291
Muskelkraft in Abhängigkeit von der Muskellänge	180	Lokale anaerobe statische Muskelausdauer	291
Kraft in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter	182	Meßmethodik der lokalen anaeroben statischen Muskelausdauer	296
Muskelkraft und Körpermasse	185	Verbesserung der lokalen anaeroben statischen Muskelausdauer	296
Zur Kraftkorrelation verschiedener Muskelgruppen	187	Zusammenfassung	297
Einfluß periodischer Rhythmik auf die Kraft	187	Allgemeine Ausdauer	297
Dynamische Kraft und Schnellkraft	189	Allgemeine aerobe Ausdauer	297
Definition und leistungsbegrenzende Faktoren	189	Allgemeine aerobe dynamische Ausdauer	297
Meßmethoden der dynamischen Kraft	192	Definition, Charakteristik, leistungsbegrenzende Faktoren	297
Zusammenfassung	194	Kardiovaskuläre Aspekte der Kurz-, Mittel- und Langzeitausdauer	301
Krafttraining	195	Metabolische Aspekte der aeroben Langzeitausdauer	306
Physiologisch-morphologische Grundlagen	195	Maximale Sauerstoffaufnahme	320
Ursachen der Hypertrophie	206	Spiroergometrie	336
Zur praktischen Durchführung von Krafttraining	207	Beurteilung der Lauf-Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor	359
Grundregeln für das Leistungstraining zur Vergrößerung der Kraft	225	Feldtests zur Leistungsdiagnostik	366
Entwicklung der Muskelkraft im Laufe eines mehrjährigen Trainings	227	Zusammenfassung	371
Elektrodenstimulation, Vibrationstraining, desmodromisches Krafttraining	228	Verbesserung der allgemeinen aeroben dynamischen Ausdauer	372
Einfluß verschiedener Faktoren auf die Krafttrainierbarkeit der Muskulatur	233	Physiologische Grundlagen	372
Kontralateraler Trainingseffekt (»Crossing-Effekt«)	235	Differenzierung der Trainingsadaptationen nach Anpassungsstufen und deren gesundheitliche Bedeutung	384
Gesundheitliche Aspekte eines Krafttrainings	239	Das trainierte Herz unter besonderer Berücksichtigung des Sporthersens	385
Zusammenfassung der Wirkungen eines Krafttrainings	245	Einfluß von Bewegungsmangel auf den gesunden Menschen	403
2.4 Schnelligkeit	245	Effekt von Minimalbelastungen zur Verbesserung der allgemeinen aeroben Ausdauer von Normalpersonen	410
Charakteristik und Grundlagen	245	Trainingsmethoden zur Verbesserung der allgemeinen aeroben Ausdauer beim Leistungssportler	418
Grundschnelligkeit bei zyklischen Einzel- und Fortbewegungen	249	Abschließende Betrachtung zu den aeroben Trainingsmethoden	429
Der 100-m-Sprint	250	Zusammengefasste wesentliche Wirkungen eines allgemeinen aeroben Ausdauertrainings auf das kardiopulmonal-metabolische System	431
Grundlagen und Methoden zur Verbesserung der zyklischen Grundschnelligkeit und der azyklischen Schnelligkeit	257	Training mittels dynamisch-negativer Arbeit	431
Zum Training auf Kunststoffbahnen	267		
Zusammenfassung	267		

Allgemeine aerobe statische Ausdauer	432	Tages-, Ortszeit und Leistungsbereitschaft	545
Allgemeine anaerobe Ausdauer	433	Rauchen und körperliche Leistungsfähigkeit	548
Allgemeine anaerobe dynamische Ausdauer	433	Alkohol, Gesundheit und körperliche Leistungsfähigkeit	550
Meßmethoden der allgemeinen anaeroben dynamischen Ausdauer	437	Koffein und körperliche Leistungsfähigkeit	553
Verbesserung der allgemeinen anaeroben dynamischen Ausdauer	443	Zum Doping	554
Zusammenfassung	445	Definition	554
Allgemeine anaerobe statische Ausdauer	446	Historischer Rückblick	554
Verbesserung der allgemeinen anaeroben statischen Ausdauer	446	Die verbotenen Wirkstoffgruppen und Methoden	555
2.6 Beziehungen zwischen den motorischen Beanspruchungsformen und ihre sportpraktische Bedeutung		Die Dopingkontrolle	560
		Zum Gendoping	560
Zum »Toten Punkt«, »Second wind« und »Aufwärmen«		Substitution	561
Übertraining		Erlaubte künstliche Maßnahmen zur Leistungssteigerung und Nahrungsergänzungsmittel	561
		Schwierigkeiten bei Dopingkontrollen	563
		Gründe für das Dopingverbot	563
		Zukunftsentwicklungen	565
3 Leistungsverhalten unter speziellen Bedingungen		4 Sportspezifische und sportärztliche Gesichtspunkte	
Verhalten von Kraft, Schnelligkeit und Ausdauer unter Höhenbedingungen		Voraussetzungen zur Erzielung eines hohen Leistungsstandards in allen Sportdisziplinen	
		565	
Zur historischen Entwicklung des Höhentrainings		Rekordentwicklung	
		566	
Allgemeine Aspekte zur sportlichen Leistungsfähigkeit in mittlerer Höhe		Kleidung und Sport	
		567	
Kardiopulmonales Leistungsverhalten unter den Bedingungen einer mittleren Hypoxie		Sportmedizinische Gesichtspunkte zu einigen körperlichen Tätigkeiten und Sportdisziplinen	
		568	
Kardiopulmonale und metabolische Adaptationen bei Höhentraining sowie das Leistungsverhalten nach Rückkehr auf Meereshöhe		Zur Anwendung muskulärer Beanspruchung in Prävention und Rehabilitation	
		582	
Hypoxietraining im Labor		Kurzer Abriss der historischen Entwicklung der Rehabilitation	
		583	
Zusammenfassung		Welt-Konsensus-Symposium 1992 (Toronto)	
		587	
Hyperoxietraining		Kölner Deklaration WHO/FIMS	
		587	
Ausdauerbeanspruchungen unter Hitzebedingungen		Das Kölner Modell zur ambulanten kardiologischen Rehabilitation	
		588	
Leistungsverhalten unter Kältebedingungen		Körperliche Aktivität bei Krankheiten, Schäden und besonderen Umständen	
		592	
Zum Tauchen und Atemanhaltevermögen		Arteriosklerose	
		592	
Taucherausrüstung		Hyper- und Hypotonie	
		595	
Leistungsentwicklung, Gesundheit und Belastbarkeit im Kindes- und Jugendalter		Kardiozirkulatorische Erkrankungen	
		598	
Schulsportbefreiung		Lungen- und Bronchialerkrankungen	
		608	
Höheres Alter, Arbeit und Training		Arterielle Verschlusskrankheit (AVK)	
		610	
Hormonelle Altersreaktionen		Nierenerkrankungen	
		612	
Lebenserwartung und Sport		Lebererkrankungen	
		616	
Praktische Durchführung des Ausdauertrainings beim Älteren		Übergewicht, Adipositas	
		617	
Schlafentzug und Leistungsfähigkeit		Diabetes mellitus	
		618	

Gastroösophagealer Reflux	622	Schwangerschaft und Sport	644
Krebskrankungen.	622	Luftverschmutzung, Ozon und Sport	645
AIDS	624	Zusammengefaßte Darstellung der präventiven Bedeutung von körperlicher Aktivität	646
Chronische Erkrankungen im Hals-Nasen-Ohren-Bereich	625	Kontraindikationen gegenüber körperlichen Beanspruchungen	651
Sehbeeinträchtigungen	625	Sportärztliche Tätigkeit.	652
Osteoporose	626	Sportärztliche Untersuchung	652
Neurodermitis	627	Sportärztliche Empfehlungen zum Sport im Fitneßstudio	656
Migräne	627	Der Arzt im Sport.	657
Chronische Erkrankungen des Halte- und Bewegungsapparates.	628	Zur Entwicklung der organisierten Sportmedizin	659
Muskelkrämpfe	628	Zur Bedeutung der Sportmedizin im interdisziplinären medizinischen Bereich	660
Neuromuskuläre Erkrankungen.	629	Ausblick	661
Psychiatrische Erkrankungen	629	Abkürzungs- und Symbolverzeichnis.	663
Psychoneuroimmunologie	629	Literatur	667
Einfluß einer medikamentösen Behandlung auf die körperliche Leistungsfähigkeit	631	Sachverzeichnis	713
Antikoagulanzen	631		
Digitalis	631		
Antiarrhythmika.	632		
Antihypertensiva	632		
Nitropräparate	633		
Betarezeptorenblocker	633		
Kalziumantagonisten	635		
Schädigungsmöglichkeiten durch körperliche Aktivität	637		
Hormonelle Veränderungen bei Sportlerinnen	641		
Die eßgestörte Athletin	642		

Einleitung

Im Mittelpunkt des vorliegenden Buches steht der Mensch mit seinen physischen und psychischen Funktionen unter den Bedingungen körperlicher Aktivität. Die beschriebenen akuten und chronischen biochemischen und biophysikalischen Adaptationen sind das Ergebnis einer Milliarden von Jahren umfassenden Entwicklung von Leben schlechthin, dem seinerseits eine noch längere Jahrtausendenspanne zur Entstehung der Strukturen unseres Universums voranging. Physik, Astronomie, Kosmologie und Molekularbiologie haben in einer unvergleichlich kurzen Zeitspanne von wenigen Jahrzehnten die Kenntnisse über unser Dasein im Universum in faszinierender Weise erweitert und zum Teil neu strukturiert. Der Fortschritt der Wissenschaften läßt uns heute auch in bezug auf die wesentlichen Funktionen vieles besser verstehen, obwohl bedeutende Fragen, wie die der Entstehung des Lebens selbst und des menschlichen Geistes mit seinen Fähigkeiten zum abstrakten Symboldenken, noch Gegenstand unterschiedlicher, zum Teil gegensätzlicher Hypothesen sind. – Die nachfolgende Schilderung soll skizzenhaft momentane Erkenntnishorizonte darstellen und Verständnis wecken für jene biologischen Prozesse und Umweltbedingungen, mit denen wir uns bei körperlicher Aktivität, Training und Sport des Menschen zu befassen haben.

Universale Entwicklung

Nach den heute geltenden Vorstellungen entstand das Weltall vor 13,7 Milliarden Jahren im Urknall (Big Bang) aus einem unendlich kleinen Volumen mit einer unendlich hohen Energiekonzentration und einer nicht faßbar hohen Temperatur. Mit der explosionsartigen Ausdehnung entstanden Raum, Zeit und Materie. Aus kleinsten Partikeln, den Quarks, bildeten sich Protonen und Neutronen, die Bestandteile des Atomkerns. Schon etwa 100 000 Jahre nach dem Urknall umgaben sich Protonen und Neutronen mit Elektronenhüllen. Turbulenzen der sich mit Lichtgeschwindigkeit ausdehnenden Gaswolke führten zu lokalen Materieballungen mit Verdichtungen und Aufheizungen bis zur Entstehung von Helium aus Wasserstoff.

Der erste Stern war geboren, die Materie gewissermaßen auf ihren Weg der Evolution gebracht. Lichtquanten, die Photonen, konnten sich nach der Entstehung von Atomen unabhängig von den Atomkernen ausbreiten: Das Universum wurde durchsichtig. Die weitere Entwicklung sollte von den vier Grundkräften der Natur – **Gravitation, schwache Kraft, starke Kraft** (Kernkraft) und **elektromagnetische Kraft** – bestimmt werden.

Tab. E-1. Vier Phasen der chemischen Evolution (nach Schriebers, 1982).

- 1. Präorganische Phase** (atmosphärische Zusammensetzung: CH_4 , NH_3 , H_2O , CO_2 , N_2 , H_2)
- 2. Organische Phase** (Reaktion der Urmoleküle läßt Aminosäuren, Nukleotide, Zucker, Fettsäuren entstehen)
- 3. Makromolekulare Phase** (aus Biomonomeren entstehen Biopolymere: Proteine, Nukleinsäuren)
- 4. Protozelluläre Phase** (Wechselwirkung von Proteinen und Nukleinsäuren). Entstehung von Fließbändern der Energiefreisetzung (Katabolismus) und der Energienutzung (Anabolismus). Voraussetzung war die Entstehung von Kontrollelementen (Enzyme) und spezifischen Strukturen (Membranen)

Tab. E-2. Energiequellen der chemischen Evolution (nach Lemmon, 1973).

Energiequellen	Energie ($\text{cal} \times \text{cm}^{-2} \times \text{Jahr}^{-1}$)
UV-Licht	
<250 nm	570
<200 nm	85
<150 nm	3,5
Elektrische Entladungen	4
Radioaktivität ¹	0,8
Thermische Energie ² (aus Vulkantätigkeit)	0,13

¹ Wichtigstes radioaktives Element vor 2,5 Milliarden Jahren war das Kaliumisotop mit der Massenzahl 40; das kalorische Äquivalent seiner Gesamtaktivität wird auf 12×10^{19} cal veranschlagt.

² Weitere Quellen thermischer Energie: Sonnenwärme, Hitzestrahlung von Meteoriten.

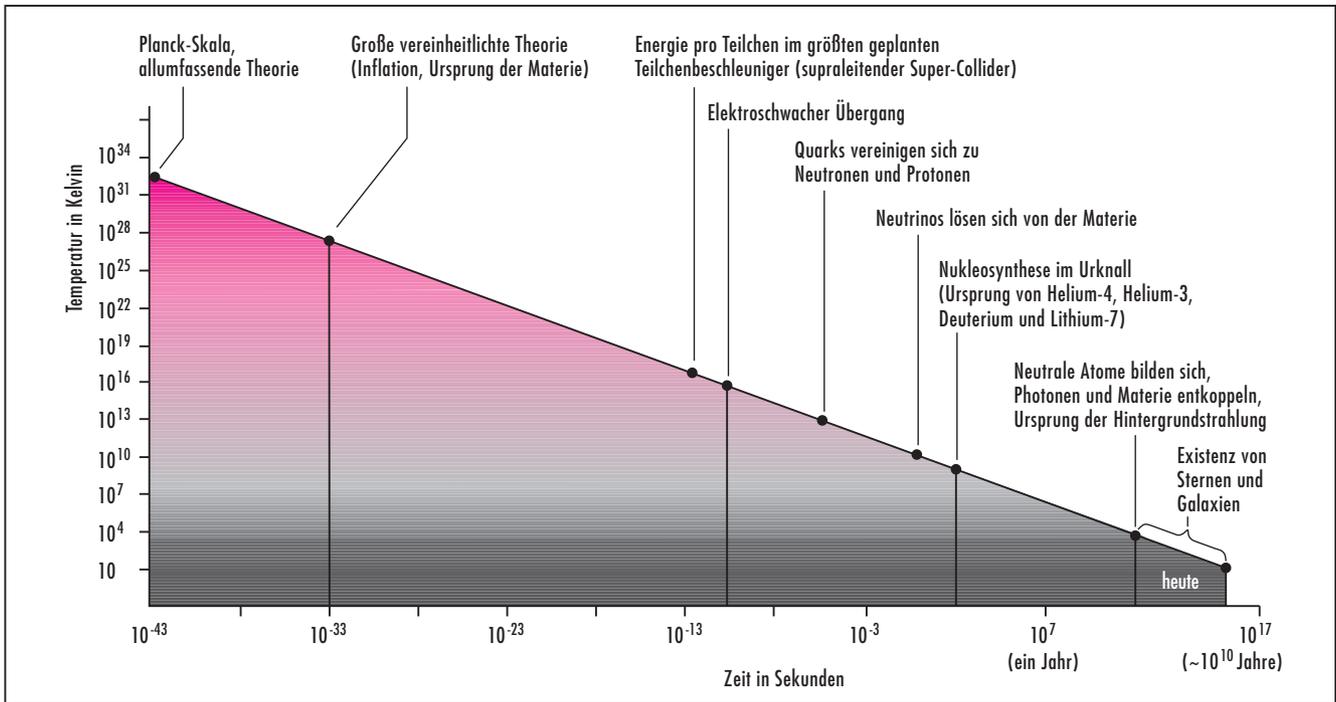


Abb. E-1. Das Urknall-Modell auf der Basis der thermischen Geschichte des Weltalls, die hier 10^{-43} s nach dem Urknall beginnt und bis in die Gegenwart andauert. Der größte Teil von Helium, Deuterium (ein Wasserstoff-Isotop) und Lithium wurde etwa 1 min nach dem Urknall synthetisiert. Die schwereren Elemente entstanden einige Millionen bis Milliarden Jahre später im Innern der Sterne (nach Schramm u. Steigman, 1990). Etwa 1 s nach dem Anfang von Zeit, Raum und Materie herrschte eine nahezu 100millionenfache Zimmertemperatur, eine Voraussetzung zur Entstehung vieler Elemente aus der Synthetisierung von Protonen und Neutronen. Die Messung der relativen Häufigkeiten der Elemente gibt deshalb Auskunft über die physikalischen Bedingungen zu einem so weit zurückliegenden Zeitpunkt. Hiermit steht die Mikrowellen-Hintergrundstrahlung in Übereinstimmung, die Informationen über Zeiten etwa 100000 Jahre nach der Entstehung des Universums liefert.

Die Geburtsdauer eines Sternes liegt zwischen einigen 10^5 und 10^6 Jahren. Jeder Stern erlebt einen Aufstieg, einen Gipfelpunkt und einen Abstieg bis hin zum Tod. Dieser »Todeskampf« spielt sich über mehrere Stadien ab, die mit der Erzeugung von immer massereichereren Atomkernen verbunden sind. Hierdurch entstehen u.a. jene Schwermetalle, welche Voraussetzung für das Leben von Mensch, Tier und Pflanze darstellen (Eisen, Kobalt, Nickel, Mangan, Zink, Kupfer, Molybdän). Ferner entwickelten sich die Bioelemente **Wasserstoff, Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff**.

Vor ca. 4,6 Milliarden Jahren entstand unsere Sonne mit ihrem Planetensystem, darunter unsere Erde. Eine Vielzahl von Voraussetzungen mußte zusammentreffen, um irdisches Leben entstehen zu lassen (Tab. E-1 u. 2).

Vor etwa 4 Milliarden Jahren bildeten sich auf der Erde die ersten Molekülverbände, vor ca. 3,5 Milliarden Jahren die ersten lebendigen Keime, etwa 1,5 Milliarden Jahre später die ersten Zellen. Nunmehr hatte nach der materiellen auch die Spezialform der biologischen Evolution ihren Weg angetreten (Abb. E-1 u. 2).

Sowohl die Entwicklung der unbelebten als auch die der belebten Materie ist durch Evolution und Selektion vonstatten gegangen. Die jeder Materie innewohnenden Eigenschaften physikalischer und chemischer Art – die Herkunft dieser Eigenschaften ist unbekannt – und ihr zufälliges Zusammentreffen (zufallsbedingte Konstellationen) werden in ihren Ergebnissen als **Evolution** bezeichnet, das Durchsetzungsvermögen als **Selektion**. Evolution bedeutet, daß

eine besser angepaßte Form aus einer weniger angepaßten hervorgeht. Die besser angepaßte Form beinhaltet meistens auch eine komplexere Struktur.

Die Dynamik von Selektion und Evolution erfordert einen Zustand weit ab von einem Gleichgewicht. Andernfalls bestünde keine Möglichkeit, auf Umweltreize, welcher Art auch immer, angepaßt zu reagieren. Sieht man Umweltreize generell als »Streß« an, so ist dieser Streß die Voraussetzung zur Störung eines labilen Gleichgewichtes (ein stabiles Gleichgewicht könnte nicht reagieren). Ein neues labiles Gleichgewicht wird angestrebt zum Zwecke der besseren Adaptation als Reaktion auf die einwirkenden Kräfte.

Solche vom Gleichgewicht weit entfernten Strukturen werden nach dem Nobelpreisträger Prigogine »**dissipativ**« genannt; es sind Strukturen, die Energie verbrauchen (vom Lateinischen dissipare: verteilen). Zur Aufrechterhaltung der angepaßten Strukturen ist ein Energiefluß erforderlich. Hört er auf, stellt sich das thermodynamische Gleichgewicht ein, das System ist tot.

Die Evolution ist durch zwei Sprünge gekennzeichnet: die Entstehung des **Lebens** und die des **Bewußtseins**. Wie Leben entstanden ist, bleibt noch unklar. Sicher ist, daß die Erde als Reaktor zur Synthese organischer Verbindungen diente mit der spontanen Entstehung von Polymeren. Sich selbst reproduzierende Reaktionseinheiten waren sicherlich Vorläufer lebender Systeme. Ein sich selbst replizierendes Nukleinsäuremolekül mag am Beginn des Lebens gestanden haben.

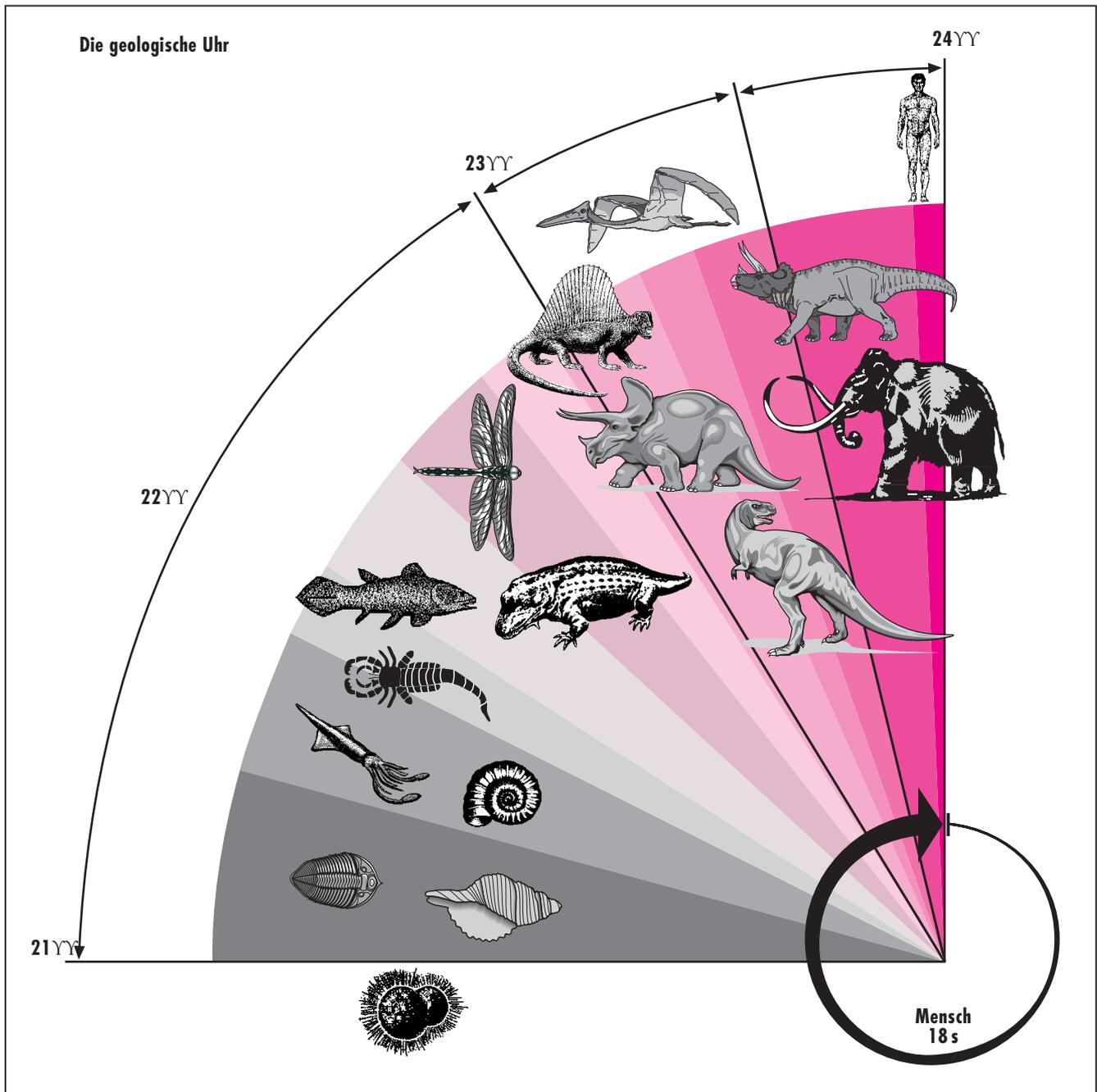


Abb. E-2. Übertragung der 4,6 Milliarden Jahre alten Geschichte der Erde auf einen 24-Stunden-Tag. Die ersten chemischen Verbindungen entstanden vor ca. 4 Milliarden Jahren, der erste lebendige Keim vor ca. 3,5 Milliarden Jahren. Erst gegen 22 Uhr trat das Leben vom Wasser zum Land über. Der heutige Mensch erschien erst 18 s vor Ende des 24-Stunden-Tages.

Chemodynamische Prinzipien von unbekannter Herkunft schufen Ordnung aus Chaos; Ur-Gen und Ur-Adaptoren und die Entstehung der Zelle folgten.

Das Aggregat »Leben« war nunmehr durch ein Genom und eine zielgerichtete Überlebensmaschine charakterisiert (Schriefer, 1982). In dem Genom sind alle Erfahrungen der Spezies und seiner

Vorfahren gespeichert. Die Überlebensmaschine kann treffend als »Weltbildapparat« bezeichnet werden (Lorenz, 1973).

Leben ist durch vier essentielle Eigenschaften charakterisiert:

- Selbstreproduktion,
- Metabolismus,
- Mutagenität (d.h., ein Agens kann eine Erbgut-Veränderung bewirken),
- Adaptationsfähigkeit (z.B. beim Training).

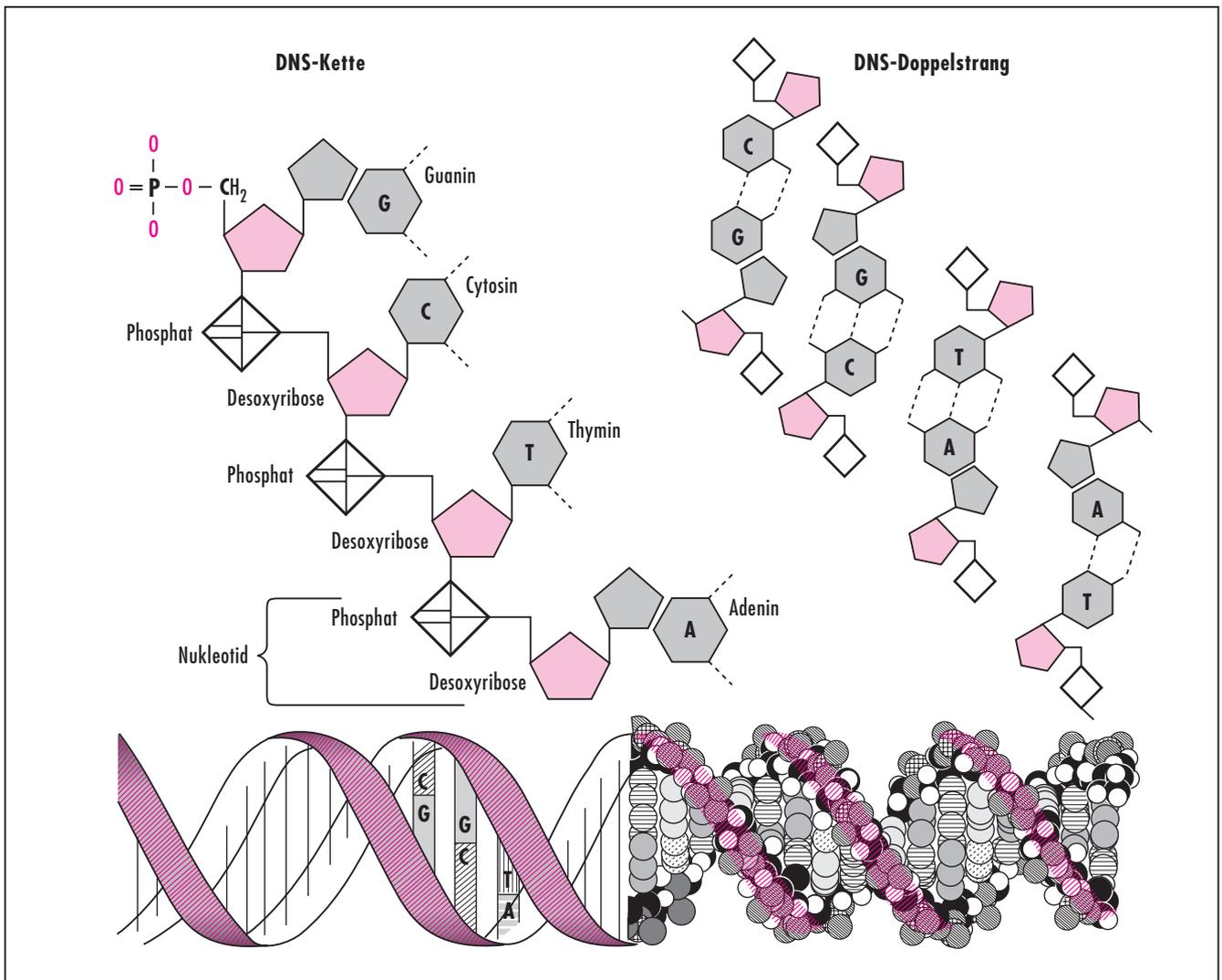


Abb. E-3. Die Desoxyribonukleinsäure (DNS) in ihrer Struktur. Links oben die vier zugehörigen Basen (G, C, T, A). Rechts oben die Basenpaarung von zwei sich gegenüberliegenden DNS-Strängen. Unten zwei Modellanordnungen mit der Verdrehung der beiden Doppelstränge als Doppelhelix (nach Birbaumer u. Schmidt, 1990).

Die Selbstreproduktivität gibt den Bauplan des Lebens weiter. Der Metabolismus versorgt entsprechend dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik den vorhandenen labilen Gleichgewichtszustand und verhindert hierdurch den Übergang in ein stabiles Gleichgewicht, was den Tod des Systems bedeuten würde.

Die **Mutagenität** beinhaltet die Möglichkeit der Mutation (qualitative oder quantitative Änderung von Erbfaktoren), während die Adaptationsfähigkeit Anpassungen an eine sich verändernde Umwelt (Einwirkung von Stressoren) ermöglicht.

Die Information für den Bauplan eines Lebewesens ist in der Desoxyribonukleinsäure (DNS) festgelegt (Abb. E-3). Sie wird von Generation zu Generation übermittelt. Die DNS ist doppelstrangig angelegt und befindet sich im Zellkern. Zur Übermittlung der Nachricht in die Synthesefabriken der Zelle dient eine Botennukleinsäure

(mRNS). In dieser Boten-RNS ist die Nachricht relativ labil gespeichert und zerfällt, nachdem sie ein Anfangsproteinmolekül instruiert hat. Kurzzeitige Nukleinsäuren (tRNS) bilden spezifische Adaptoren, die an die Boten-RNS angelagert werden. Die instruierten Proteine regeln als Katalysatoren und Steuereinheiten den gesamten Funktionsablauf der Zelle (Tab. E-3).

Der genetische Schriftsatz besteht zum Beispiel bei Kolibakterien aus einigen Millionen Symbolen. Der Erbsatz des Menschen ist etwa tausendmal so groß (Eigen et al., 1988).

In den Chromosomen befinden sich die **Gene** (Erbfaktoren) hintereinander aufgereiht. Ein Gen ist von molekularer Dimension. Enzymatische »Schneidegeräte« sind bestimmten Genabschnitten zugeordnet. Die Entdeckung dieser Restriktionsenzyme sowie die erste Kartierung spezifischer Erkennungszeichen für Genabschnitte waren die Geburtsstunde der Gentechnologie. Im Jahr 2007 wurde die Zahl der Gene beim Menschen mit ca. 30 000 angegeben.

Tab. E-3. Wechselspiel von Information und Funktion. Beide bedingen einander. DNS sammelt Information und gibt sie weiter, Protein stellt Kontrollelemente des Stoffwechsels als Enzyme, Hormone, Rezeptoren, Induktoren, Repressoren und Antikörper (nach Schriefer, 1982).

	Information Funktion	Legislative Exekutive	Wort Tat
--	--------------------------------	---------------------------------	--------------------

Ein aus tausend Symbolen bestehendes Gen verfügt über 10^{600} alternative Sequenzen (Eigen et al., 1988). Durch **Selektion** wird verhindert, daß jede der 10^{600} möglichen Alternativen tatsächlich auftreten kann. Andernfalls wäre die Evolution schon früh in einer Sackgasse gelandet. Die Selektion setzt als deterministischer Prozeß aber nicht nach Auftreten einer vorteilhaften Mutante ein, sondern läßt Mutanten von vornherein nicht völlig regellos entstehen. Mutanten sind vielmehr das Ergebnis aus den in der Verteilung am häufigsten erscheinenden Vorläufern. Dabei hängt es vom jeweiligen Selektionswert relativ zu dem der optimalen Variante innerhalb der Verteilung ab, welche Vorläufer am häufigsten vorkommen. Diese und weitere Detailfaktoren schränken Selektionsprozesse ein (Eigen et al., 1988).

Man geht heute nicht mehr davon aus, daß eine einzige Urzelle am Anfang des Lebens stand, sondern man spricht von einer »Urgemeinschaft primitiver Zellen« (Abb. E-4). Das dort dargestellte Prinzip eines Stammbaums des Lebens entspricht den meisten heutigen Auffassungen (Rauchfuß, 2005).

Lebewesen altern. Jedes Lebewesen ist durch eine für ihn typische Lebensdauer charakterisiert. Demnach muß ein irgendwie geartetes genetisches Programm für das Altern existieren. Das Genom selbst, d.h. also die DNS-Information, altert nicht. Für die

Tab. E-4. Dem lebenden System liegt im wesentlichen ein Zeichenvorrat von nur 31 verschiedenen Molekülen bzw. Molekültypen zugrunde. Ihre Zusammensetzung sowie ihre Aufgaben und ihre Funktion ist im Zusammenhang dargestellt (nach Schriefer, 1982).

Moleküle	Aufgabe, Funktion
Glukose	Energiefieferanten
Fettsäuren	
Neutralfett	Energiespeicher
Lipide	Hauptbausteine membranöser Strukturen
20 verschiedene Aminosäuren	Bausteine zur Prozeßsteuerung: Enzyme, Hormone, Rezeptoren, Antikörper
5 stickstoffhaltige Basen	
Ribose bzw. Desoxyribose	Die Verbindung von Base, Ribose bzw. Desoxyribose und Phosphat ist ein Nukleotid.
Phosphat	Die Nukleotide sind die Bausteine der Nukleinsäuren und damit auch des genetischen Materials sowie der für die genetische Information notwendigen Moleküle

Alterserscheinungen sind vielmehr die Proteine verantwortlich. Die Information für die Synthese der Proteine wird der DNS entnommen. Nach deren Instruktion werden Proteine synthetisiert, die wiederum bei der Synthese weiterer Proteine mitwirken. Entsteht hier irgendwo ein Fehler, so kann sich dieser durch Rückkopplung aufschaukeln und schließlich zum Zusammenbruch des ganzen Systems führen. Von der richtigen Funktion der Proteine aber hängen ihrerseits zahlreiche Funktionen ab wie die Synthese von Hormonen oder das Funktionieren des Immunsystems (Tab. E-4).

Es sind die **dissipativen Strukturen** (vom Gleichgewicht entfernt und deshalb mit der Umgebung Energie und Stoff austauschend) in den Lebewesen, die den Aufbau von Ordnung ermög-

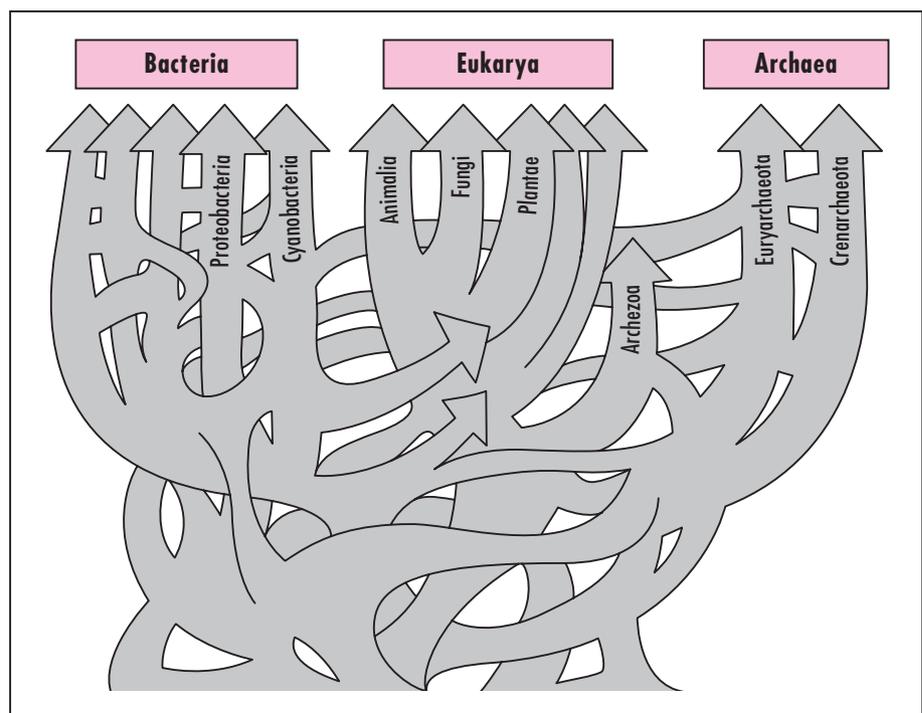


Abb. E-4. Ein Stammbaum des Lebens. Vernetzung primitiver Zellen, welche sich Blaualgen mit aerobem Stoffwechsel einverleibten und zu Mitochondrien bzw. Chloroplasten umgestalteten. Die zahlreichen Querverbindungen lassen auf einen intensiven Transfer von Genen zwischen den Organismen schließen (nach Brown u. Doolittle, 1997).

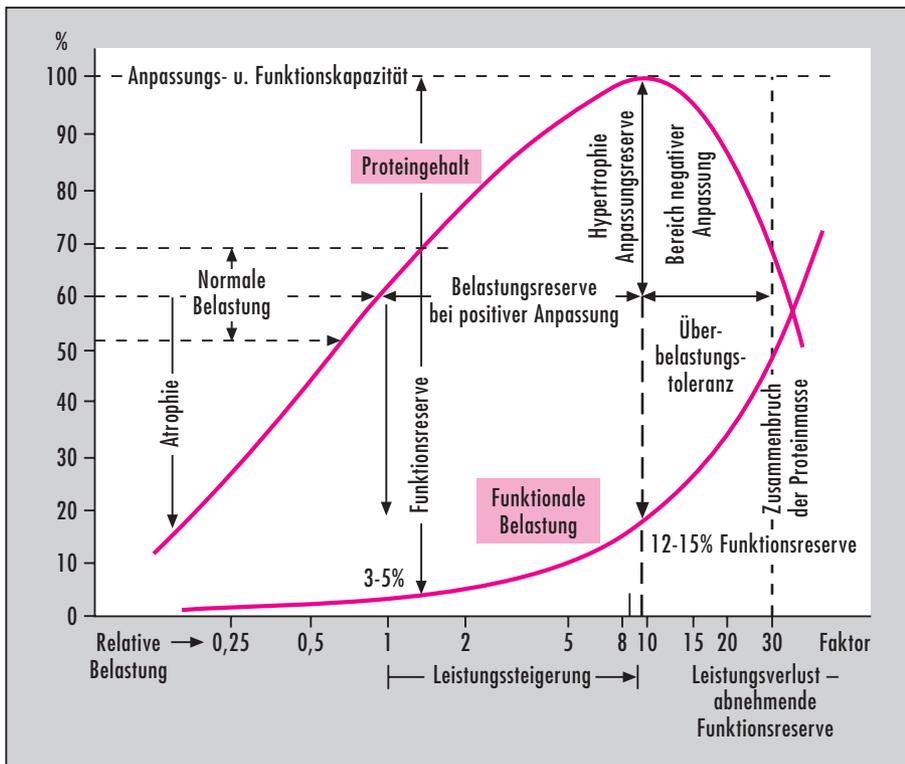


Abb. E-5. Beziehung von Proteinmasse und relativer Auslastung der chronisch nutzbaren maximalen Funktionskapazität in Abhängigkeit von der funktionalen Belastung. — Jede weitere Belastungssteigerung über den maximalen Adaptationspunkt hinaus beansprucht bei abnehmender Proteinmasse einen zunehmenden Anteil der Funktionskapazität und verringert damit die Funktionsreserve (nach Mader, 1991).

lichen und nur deshalb schier unvorstellbare Präzisionsleistungen hervorbringen können, weil sie sich am Rande des Chaos bewegen. Damit können sie einerseits dem Organismus zu großartigen Leistungen verhelfen, tragen aber andererseits die Möglichkeit des plötzlichen Zusammenbruches und damit den Keim des Todes in sich. Mader u. Hollmann (1992) erarbeiteten ein Schema des Proteinzklus in der Zelle (Abb. E-5).

Allen dissipativen Strukturen ist der Tod gemeinsam: Galaxien, Fixsterne, Planeten, Mineralien, Atome, Protone, Neutronen, Zellen und Lebewesen. Die in sich schöpferisch gewesene Materie verfällt beim Altern und geht mit ihrer Zerstörung in einen »allgemeinen Materiestrom über«. Die Atomkerne Proton und Neutron haben eine Existenzzeit von 10^{33} – 10^{34} Jahren, während Elektronen »unsterblich« sind (Tipler, 2002).

Der erwähnte 2. Sprung der Evolution ist die Bildung des **Bewußtseins**. Die höchste Stufe von Bewußtsein erfuh der **Homo sapiens**, charakterisiert durch den sogenannten »Sich-seiner-selbstbewußten-Geist« mit der Fähigkeit zum abstrakten Symboldenken unter Ich-Bezug, Zukunftsplanung und Sprachanwendung. Es handelt sich um die einzige qualitative Differenzierungsmöglichkeit zwischen Mensch und Tier. Dieser Homo sapiens steht am Ende einer vor mehr als 12 Millionen Jahren begonnenen Entwicklung zum ersten aufrecht gehenden Lebewesen. Der aufrechte Gang war die Voraussetzung zur Freisetzung der Hände und Arme zunächst für primitive Trage- und Haltefunktionen, später bis zu höchsten künstlerischen Leistungen. Hierdurch konnten jene Reizsetzungen funktioneller Art auf das Gehirn vorgenommen werden, welche reaktiv wie auch produktiv morphologisch zu einer Vergrößerung der Hirnmasse und insbesondere zur Ausbildung spezifischer moto-

rischer und sensibler Gehirnstrukturen führten (Creutzfeldt, 1987/88; Searle, 1984; Stefan, 1972; Washburn, 1978).

Es dürfte heute als bewiesen angesehen werden, daß der aufrechte Gang (Bipedie), ein besonderes Charakteristikum des Menschen im Gegensatz zu allen anderen Primaten, schon lange vor der entscheidenden Gehirnentwicklung existierte.

Der älteste unserer momentan bekannten Vorfahren ist der *Oreopithecus bambolii*. Dieses Wesen lebte vor 7 bis 8 Millionen Jahren und ging aufrecht. Vor 6 bis 7 Millionen Jahren folgte der *Sahelanthropus tchadensis*. Vor 4,5 Millionen Jahren lebte der *Australopithecus ramidus*, dem vor 3,5 Millionen Jahren der *Australopithecus afarensis* folgte. Wahrscheinlich haben die menschlichen Vorfahren schon gleich zu Beginn der Entwicklung das Leben in Bäumen aufgegeben und sich von Vierfüßigkeit auf Zweifüßigkeit umgestellt. Diese erleichtert das Beschaffen und Tragen von Nahrung und somit das Überleben. In dieser größten strukturellen Revolution in der Entwicklung des Menschen mußte die Körperachse von waagrecht auf senkrecht unter entsprechender Steuerung durch das Zentralnervensystem umverlagert werden. Diese Leistung kann gar nicht hoch genug eingestuft werden (Abb. E-6).

Der Ramidus und der Afarensis besaßen jeweils ein Gehirnvolumen von etwa 400–500 ml. Das entspricht dem des heutigen Schimpansen. Der nachfolgende **Homo habilis** verfügte bereits über ein Volumen von ca. 800 ml. Der sich anschließende **Homo erectus**, der vor etwa 1,5 Millionen Jahren lebte, dürfte ein Gehirnvolumen von ca. 1000 ml besessen haben.



Abb. E-6. Die älteste jemals ermittelte Fußspur des Menschen. Fußabdrücke von zwei Personen, die vor 3,6 Millionen Jahren einen Spaziergang über gerade herabergeregnete Vulkanasche machten. Tiefer Ferseneindruck, eine Varus-hallux-Position, Eindrücke kurzer Zehen, »Barfuß-Lücke« zwischen Hallux und Zehen (nach Leakey, 1981).

Vor etwa 300 000 Jahren trat die erste Form des **Homo sapiens** auf, der **Neandertaler**. Besonders bemerkenswert an ihm ist die Größe seines Gehirns, welche das des heutigen Menschen um ca. 20% übertraf. Wenn auch nur eine tendenzielle, keine lineare Beziehung besteht zwischen der Gehirngröße und der entwickelten Intelligenz, so kann man doch davon ausgehen, daß der Neandertaler hoch begabt gewesen sein muß.

Dreidimensionale computergestützte Rekonstruktionen auf der Basis von Schädelausgüssen ergaben, daß die Dimensionen der verschiedenen Gehirnabschnitte mehr oder weniger identisch mit denen des modernen Menschen waren. Dazu gehörte also eine überdurchschnittlich große Entwicklung des Großhirns, trotz der flie-

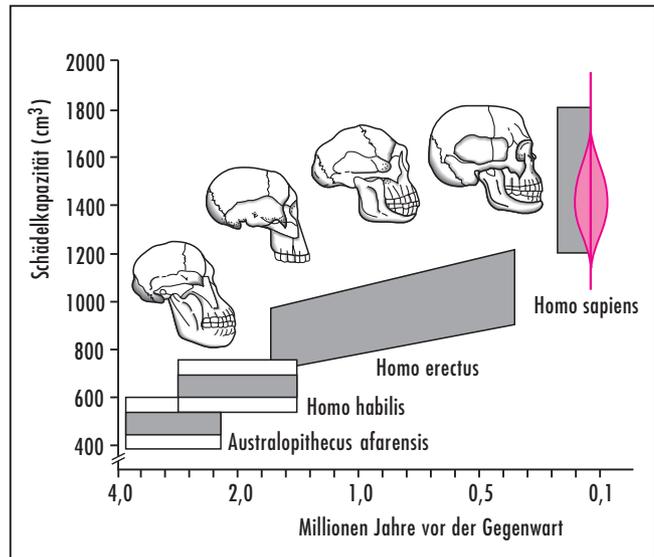


Abb. E-7. Steigerung der Schädelkapazität in den letzten 4 Millionen Jahren. Die schraffierten Vierecke repräsentieren die Zeit der jeweiligen Lebensart. Die Spindel steht für Lebenszeit und Schädelkapazität des Homo sapiens (nach Stebbins, 1982).

henden Stirn. Auch das Gefäßnetz im Gehirn des Neandertalers war besser angelegt als das beim modernen Menschen, indem es über keine Endarterien verfügte. So verringerte sich bei ihm die Schlaganfallgefahr (Stefan, 1972; Washburn, 1978; Abb. E-7).

Das Hauptmittel zum Nahrungserwerb war ein kurzstieliger Speer, der an seiner Spitze mit Widerhaken ausgestattet war. Er eignete sich nicht zum Werfen, sondern nur zum Zustoßen. Als Rechtshänder hat man beim Zustoßen die Hauptkraftentwicklung im rechten Arm, während der linke nur eine Führungsfunktion übernimmt. Darum konnte beim Neandertaler fast ausnahmslos eine rechtsseitig stärkere Knochenentwicklung festgestellt werden als linksseitig. Er schlich sich in den Wäldern, in denen er lebte, so nahe an das zu erlegende Tier heran, daß er es mit einem Stoß töten konnte.

Vor 45 000 Jahren setzte eine schnelle Abkühlung auf der nördlichen Halbkugel ein. Sie vollzog sich nicht in Jahrtausenden, sondern innerhalb von 1 bis 3 Generationen. Die Wälder begannen abzusterben. Damit wurde es für den Neandertaler immer schwieriger, seiner Beute aufzulauern. Mehr und mehr litt er nun an Fleischmangel und Unterernährung, was vor ca. 30 000 Jahren zu seinem Aussterben führte. Der von Afrika nach Norden vorstoßende moderne Mensch war zwar weniger gut an niedrige Temperaturen angepaßt, besaß aber einige Überlebensvorteile. Er war größer, hatte längere Beine, konnte damit schneller und länger laufen. Der Körperbau des Neandertalers war nämlich breiter und vor allem durch ein außerordentlich breites Becken gekennzeichnet. Dies ermöglichte auch die Geburt eines größeren Schädels als bei modernen Menschen, was eine Voraussetzung für ein größeres Gehirn darstellt. Er hatte jedoch auffallend kleine Bogengänge als Gleichgewichtsorgan. In experimentellen vergleichenden Tieruntersuchungen konnte festgestellt werden, daß die Regel gilt: Je kleiner die Bogengänge, desto ungeschickter die Beweglichkeit aufgrund

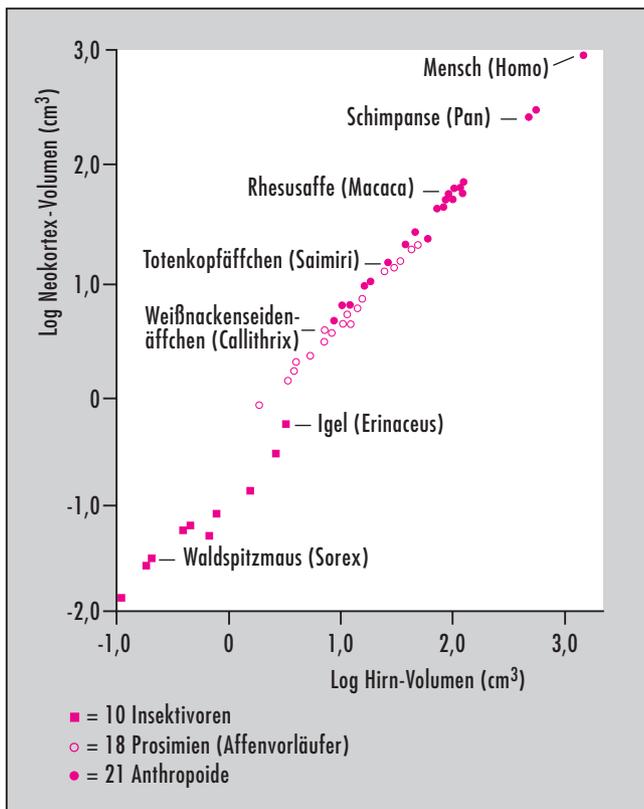


Abb. E-8. Beziehung zwischen dem Volumen des Neokortex und dem Gesamtgehirn bei 10 Insektivoren (Quadrate), 18 Affenvorläufern (offene Kreise) und 21 Anthropoiden (gefüllte Kreise). Primaten erhöhen das Kortexgewicht relativ zum Gehirngewicht deutlich stärker (nach Radinsky, 1975).

fehlender Balancekontrolle. Die Kombination dieses Gesichtspunktes mit den kurzen, zum Dauerlaufen ungeeigneten Beinen und vermutlich auch ein im Vergleich zum modernen Menschen weitaus geringeres Zielvermögen bei dem Versuch, einen Speer zu werfen, mag entscheidend für das Aussterben gewesen sein.

Im Vergleich zum Speer des Neandertalers war der des modernen Menschen eine quasi unsichtbare Flugwaffe. Sie ließ sich außerordentlich präzise über viele Meter werfen und traf völlig überraschend das Beutetier. Dadurch war der moderne Mensch nicht zum Heranschleichen an Wild im Wald gezwungen. Seine weitaus größeren Bogengänge – auch in Relation zur größeren Körperlänge – ermöglichten ihm ein geschicktes Balancieren und eine große Wurfgenauigkeit. Dank der langen, für Ausdauer geeigneten Beine und dem schmaleren Körperbau konnte er sich weitaus besser in der Steppe behaupten. Das waren die entscheidenden Unterschiede zwischen dem Neandertaler und dem modernen Menschen. Vor 30 000–40 000 Jahren traten der Cromagnon- und der Aurignac-Mensch auf, identisch mit dem heutigen Menschen.

Bemerkenswerter als absolute Zahlengrößen sind die unterschiedlich raschen Zunahmen verschiedener Gehirnteile. Beim heutigen Menschen ist der Neokortex, der Sitz der Sprache und anderer kognitiver Funktionen, 3,2mal größer als beim Baum- oder Menschenaffen bei vergleichbarem Körpergewicht (Searle, 1984; Stefan, 1972) (Abb. E-8).

Die Entwicklung des menschlichen Geistes ist wissenschaftlich eine der wohl interessantesten Fragestellungen überhaupt. Die Suche nach dessen Ursprung geht an den Kern aller für uns geltenden ethischen, philosophischen, politischen und sozialen Maßstäbe.

Man kann den Menschen charakterisieren als ein Lebewesen, welches aus ca. 300 Trillionen Molekülen besteht, die in der Lage sind, über sich selbst nachzudenken.

Bezüglich Herkunft und Funktionsweise des menschlichen Geistes stehen sich zwei Haupttheorien gegenüber: die **monistische** und die **dualistische** Theorie. Erstere besagt, der menschliche Geist sei die Konsequenz von Struktur, Physik und Chemie des Gehirns. Letztere vertritt die Meinung, der menschliche Geist bediene sich der Struktur, Physik und Chemie des Gehirns, ohne aber damit identisch zu sein. Die Forschungen des vergangenen Jahrzehnts haben der monistischen Theorie eine Dominanz verschafft.

Zur Bedeutung der körperlichen Leistungsfähigkeit in der heutigen Gesellschaft

Die Motivation zur Erhaltung oder Förderung einer guten körperlichen Leistungsfähigkeit läßt sich in folgenden Hauptpunkten zusammenfassen:

1. gesundheitliche Gründe,
2. Zweckmäßigkeitsgründe,
3. sportliche Gründe.

Ad 1. In einer Welt der Technik und Automatisierung scheint dem körperlichen Leistungsvermögen nur noch eine untergeordnete Bedeutung zuzukommen. Eine herausragende muskuläre Leistungsfähigkeit ist heute weniger als früher zur Bewältigung des Alltagslebens oder für die heutige Berufsarbeit eine Voraussetzung. Die Technik erlaubt uns, in wenigen Stunden fremde Kontinente zu erfliegen und sogar noch Zeit hinzuzugewinnen. Ohne vorausgehende muskuläre Beanspruchung kann der Blick von Berggipfeln genossen werden, deren aktive Besteigung dem einzelnen nicht möglich wäre. Auto und Fahrstuhl entheben uns des Gehens und Treppensteigens, Automatisierung und Technik haben die Berufsarbeit von schwerer muskulärer Beanspruchung immer mehr befreit. Selbst die Hausfrau ist muskulär weitgehend entlastet worden durch selbstverständlich gewordene Einrichtungen wie Staubsauger, Waschmaschine, automatische Heizung.

Die in wenigen Jahrzehnten vonstatten gegangene entscheidende Umwälzung des menschlichen Daseins hat jedoch die biologischen Gesetzmäßigkeiten unberührt gelassen. Zu ihnen zählt eine Grundregel, die etwa mit den Worten formuliert werden kann

Struktur und Leistungszustand eines Organismus werden bestimmt vom Erbgut, von der Qualität und der Quantität seiner Beanspruchung.

Je intensiver innerhalb physiologischer Grenzen ein Organ gefordert wird, desto stärker paßt es sich der Belastung an, desto leistungsfähiger und widerstandsfähiger wird es. Der adäquate Reiz

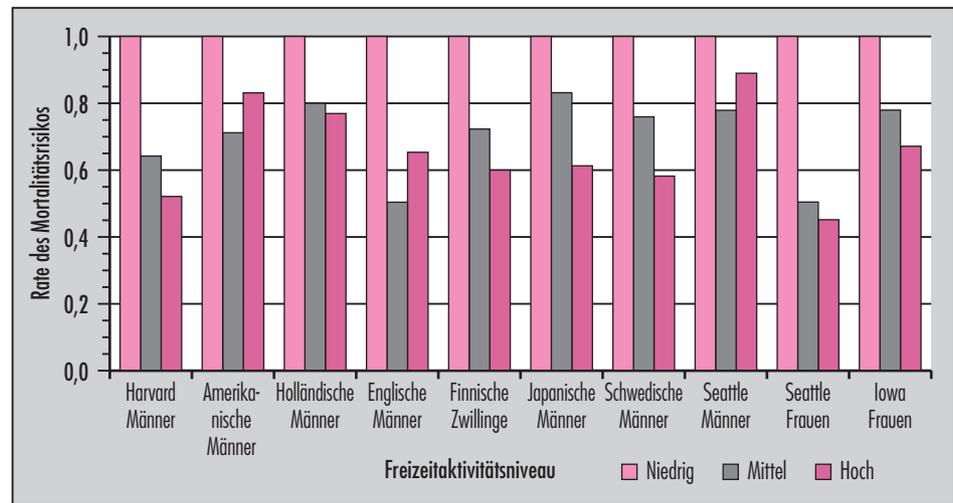


Abb. E-9. Das Mortalitätsrisiko bei männlichen und weiblichen Personen mit niedriger, mäßiger oder hoher Freizeitaktivität in verschiedenen Ländern (nach Haskell, 2000).

für die Entwicklung und Erhaltung der Leistungsfähigkeit der inneren Organe, speziell von Herz, Kreislauf, Atmung und Stoffwechsel, ist die dynamische Beanspruchung großer Muskelgruppen.

Im Kindes- und Jugendalter besteht deren Aufgabe darin, die dem heranreifenden Organismus innewohnenden Entwicklungsmöglichkeiten zur vollen Entfaltung zu bringen. Der junge Erwachsene kann dann in optimaler körperlicher und geistiger Ausstattung dem Leben entgegentreten. Beim erwachsenen Menschen besteht die Hauptaufgabe von dynamischen Beanspruchungen großer Muskelgruppen in der Vorbeugung von Herz-Kreislauf- sowie von Stoffwechselerkrankungen. Beim älteren und alten Menschen sollen Beanspruchungen auf Ausdauer, Kraft, Koordination und Flexibilität altersbedingten körperlichen und geistigen Leistungseinbußen entgegenwirken.

Bleiben Ausdauer- und Kraftbeanspruchungen großer Muskelgruppen längere Zeit unterhalb einer Reizschwelle, so entstehen Funktions- und Leistungsverluste, verbunden mit Inaktivitätsatrophien in den verschiedensten Organ- und Zellbereichen, die bereits einen krankheitsnahen Zustand darstellen können. Dieser leistet dann der klinischen Manifestation von degenerativen Herz-Kreislauf-Veränderungen oder von »Alterserscheinungen« entscheidenden Vorschub.

Durch Bewegungsmangel geförderte Symptome werden als **Hypokinetosen** bezeichnet (Kraus u. Raab, 1964). Zu ihnen können zählen: funktionelle Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Leistungsschwäche von Herz, Kreislauf, Atmung und Stoffwechsel, Herzinfarkt, periphere arterielle Durchblutungsstörungen, Thrombosen, hyper- und hypokinetisches Syndrom, Hypertonie, Lungenfunktionsstörungen, nervöser Reizmagen, Depression, Osteoporose, Übergewicht, metabolisches Syndrom, Demenzentwicklungen im Alter und Arthrosen. Allen genannten Erscheinungen ist gemeinsam, durch ein adäquates körperliches Training kausal oder zumindest symptomatisch gebessert werden zu können.

Die Durchführung eines regelmäßigen körperlichen Trainings jenseits des 40. bis 50. Lebensjahres bedingt eine funktionelle Verlangsamung des Einflusses von biologischen Alterungsvorgängen und gestattet uns, gewissermaßen »20 Jahre lang 40 Jahre alt zu bleiben«. In

jüngster Zeit konnte darüber hinaus eine vergrößerte Sterblichkeitsrate bei Inaktivität und erhöhte Lebenserwartung des trainierenden älteren und alten Menschen belegt werden (Paffenbarger, 1994; Abb E-9).

Ad 2. Neben diesen gesundheitlichen Überlegungen können auch heute noch **Zweckmäßigungsgründe** für ein körperliches Training sprechen. Das Jet-Zeitalter läßt Klima- und Milieuveränderungen in einem Ausmaß zu, wie wir es früher nur nach wochenlangen Fahrten mit entsprechend langsamer Anpassung kannten. Ein reduziertes Leistungsvermögen des Organismus erschwert jedoch das akute Ertragen veränderter Umweltbedingungen. Das gilt gleichermaßen für die Tropen wie für das Erlebnis einer Bergfahrt, wo zur Gipfelersteigung früher Stunden und Tage notwendig waren, heute nur eine bequeme Fahrt von einigen Minuten Dauer. Auch mit dem akuten Höhenerlebnis wird ein trainierter Organismus besser fertig als ein unterdurchschnittlich leistungsfähiger. Zur Demonstration des nach wie vor wichtigen körperlichen Leistungsvermögens bedarf es aber nicht einmal solcher Reiseerlebnisse. Jede Indisposition, die mit einer Herabsetzung der Leistungsfähigkeit verbunden ist, wird bei Vorliegen eines höheren Fitneß-Grades besser ertragen. Darüber hinaus erleichtert eine gute Fitneß die Bewältigung der Alltagsaufgaben, besonders bei Erschwerung durch ungünstige meteorologische Bedingungen (z. B. Föhn).

Ad 3. Der natürliche Beweggrund für eine Erhöhung der körperlichen Leistungsfähigkeit ist der **Sport**. Dabei handelt es sich heute um einen Sammelbegriff für sehr unterschiedliche Bestrebungen.

Aus der Sicht der Medizin versteht man unter dem Begriff »Sport« muskuläre Beanspruchung mit Wettkampfcharakter oder mit dem Ziel einer hervorstechenden persönlichen Leistung (Hollmann, 1967).

Speziell in den letzten zwei Jahrzehnten hat eine tiefgreifende Dissoziation zwischen dem sogenannten Breitensport und dem Hochleistungssport stattgefunden. Ihre Gemeinsamkeiten sind gering geworden. Das gilt sowohl für die Motivation als auch für Art und Umfang der Sportausübung sowie für die damit zusammenhängenden soziologischen und gesundheitlichen Aspekte.

Demgemäß unterscheiden wir heute vier Hauptkategorien sportlicher Betätigung, die durch unterschiedliche Charakteristika geprägt sind und sich durch die kombinierte Betrachtung von Motivation und Leistung trotz fließender Übergänge trennen lassen:

- **Breitensport:** Die Antriebe bestehen in der Freude an der Bewegung, gegebenenfalls an bestimmten sportarttypischen Bewegungsformen, am Spiel, ferner am Mitgehenwollen innerhalb anerkannter oder auch selbstgebastelter Wettkampfsysteme. Mitbetätigung in einer Gruppe oder Pflege des Familienlebens sind weitere Gründe. Die gebotene Leistungshöhe spielt keine Rolle, obwohl auch schon hier eine möglichst gute Leistung angestrebt wird. Der Spieltrieb und/oder soziale Momente – nicht etwa die Gesundheit – stehen ganz im Vordergrund.
- **Gesundheitssport bzw. der Gesundheit dienende Übungs- oder Trainingsmaßnahmen:** Hier besteht die Motivation in erster Linie aus gesundheitlichen Gründen. Es kann sich sowohl um präventive als auch um therapeutische oder rehabilitative Interessen handeln. Im therapeutischen Bereich überwiegt körperliches Training mehr als Sport, da hier sowohl der Wettkampfcharakter als auch das Ziel der hervorstechenden persönlichen Leistung durchweg ausgeschaltet werden soll, um eventuelle Schädigungen zu vermeiden. Aber auch bei Erfüllung der obigen Definition von Sport steht die Höhe der gebotenen Leistung bedeutungsmäßig im Hintergrund.
- **Leistungssport:** Auch hier spielt bei der Motivation die Freude an der Bewegung bzw. an der Ausübung der betreffenden Sportart noch die entscheidende Rolle; in den Vordergrund ist jedoch nunmehr die Leistung gerückt. Qualität und Quantität der Beanspruchung werden nach leistungsmäßigen Gesichtspunkten geordnet, die Teilnahme an einem bestehenden Wettkampfsystem angestrebt. Die im Vergleich zu anderen Personen momentan erreichte Leistung spielt zur Einordnung in die Gruppe keine Rolle. Entscheidend ist vielmehr das Streben nach einer überdurchschnittlichen Leistung. So läßt beispielsweise die regelmäßige Teilnahme an einem ursprünglichen Freizeitsport (z.B. Volkslaufwettbewerbe) in der Absicht, stetig bessere Plazierungen zu erreichen, den Betreffenden bereits zum Leistungssportler werden. Das gilt auch für den Alterssportler jeglicher Altersstufe, der unter Erfüllung dieser Voraussetzungen der Definition nach zum Leistungssportler wird.
- **Hochleistungs- oder Spitzensport:** In dieser Rubrik fassen wir alle jene Leistungssportler obiger Definition zusammen, welche nach nationalen oder internationalen Maßstäben hervorragende Leistungen aufweisen. Motivationen wie Freude an der Bewegung oder geselliges Zusammensein in Sport und Spiel mit anderen sind nunmehr in den Hintergrund getreten. Ziel ist praktisch nur noch die Meisterschaft, die Medaille, der Rekord, dem sich alles andere im Alltagsleben unterzuordnen hat. Schönholzer (1971) spricht vom »Erfolgssport«, in welchem die wirkliche Freiheit der Sportausübung mehr oder weniger verlorengegangen ist und – zumindest in zahlreichen Sportdisziplinen – dem Wesen nach der Tatbestand des Berufssportlers erfüllt ist. Eine spezielle Sparte dieser Kategorie stellt der »Showsport« dar. Er ist besonders attraktiv für das Fernsehen, welches große Summen für dessen Übertragungen zahlt (Fußball, Tennis, Formel-1-Autorenrennen u. a.).

Alle Bereiche haben einander nötig. Aus der Sicht der übrigen Sportrubriken sprechen vornehmlich folgende Argumente für den Hochleistungssport:

1. Er stellt das **Experimentierfeld** dar, dessen Erkenntnisse in medizinischer, psychologischer, pädagogischer und technischer Hinsicht dem gesamten Sport zugute kommen.
2. Wir leben in einer **Leistungsgesellschaft**. Leistungsmotivierten Personen muß Gelegenheit gegeben werden, sich nicht nur in einer geistigen, sondern auch in einer körperlichen Leistungsspitze bestätigt zu sehen.
3. Der Hochleistungssport ist heute zu einem **Politikum** geworden. Aus den positiven Konsequenzen profitiert der gesamte Sport (z. B. Sportstättenbau).

1896 wurden die Olympischen Spiele der Neuzeit ins Leben gerufen. Der Initiator, Baron de Coubertin, sah »die Ehe von Muskel und Geist« als Idealbild an. **Aufgrund der Eigengesetzlichkeit des Hochleistungssports hatte man unbewußt den Grundstein zu einem gigantischen biologischen Experiment mit dem Menschen gelegt.** Spätestens Anfang der 1970er Jahre wurde in verschiedenen Sportdisziplinen der Grenzbereich der biologischen Leistungsfähigkeit erreicht. Nun reichten nicht mehr einige Trainingsstunden pro Woche zum guten Abschneiden bei Olympischen Spielen, sondern es wurden außer der Voraussetzung günstiger genetischer Faktoren viele Stunden täglichen Trainings erforderlich. Die Folgen zeigten sich in einer Zunahme der Verletzungen und Schäden infolge akuter oder chronischer Fehl- oder Überbelastung.

Der ethische Anspruch von einst, durch Sport die Gesundheit zu fördern, drohte im Hochleistungssport ins Gegenteil umzuschlagen.

Als schwächster Punkt im menschlichen Organismus erwies sich der Halte- und Bewegungsapparat. Darum wurde von nun an von orthopädischer Seite besonderer Wert darauf gelegt, daß nicht nur Personen mit pathologischen Befunden, sondern auch solche mit physiologischen Varianten, die in einem täglichen Hochleistungstraining eine Gefährdung darstellen (z.B. unphysiologische Achsenstellungen in Gelenken), von vorneherein ausgeschlossen wurden.

Wer täglich mehrstündig trainiert, hat kaum noch eine Chance zur Ausübung eines Berufes.

Zwangsläufig entwickelten sich Spitzensportler zu Berufssportlern.

In den frühen 1980er Jahren wurde es erstmals möglich, daß z.B. Weltklasse-Sprinter durch ihre Teilnahme an einem Sportfest 20 000–50 000 Dollar verdienen konnten. Damit zeichnete sich ein neuer Trend im Berufssport ab. Es wurden die Anfänge gelegt zu einem »Hochspringer-Zirkus«, »Sprinter-Zirkus« und ähnlichem. Bereits 1948 hatte Jack Kramer den »Tennis-Zirkus« aufgebaut, dem der »Formel-1-Rennwagen-Zirkus« und der »alpine Ski-Zirkus« folgen sollten. Manche weitere Sportarten schlossen sich an. Kleine Gruppen von Hochleistungssportlern machten sich durch diese Art eines Wanderzirkus zu Großverdienern.

Die mit der Professionalisierung einhergehende **Kommerzialisierung** hat Folgen, die in ethische, medizinisch-ärztliche und sportpraktische Aspekte unterteilt werden können.

Zur **ethischen** Seite: Anlässlich eines Besuches in der Deutschen Sporthochschule Köln im Jahre 1956 sprach Avery Brundage, letzter Gralshüter des Amateursportgedankens, als Präsident des Internationalen Olympischen Komitees. Inhaltlich formulierte er: »Olympischer Geist, olympisches Ideal – das ist amaterielles, leistungsbezogenes sportliches Handeln im Geiste von Fair play.« Man möchte hinzufügen: »Völker- und Rassenverständigung.« Die amaterielle Seite und leider auch vielfach Züge des Fair play sind dem Profisport und der Kommerzialisierung zum Opfer gefallen.

Eine der Folgen besteht darin, daß man Kindern und Jugendlichen den Spitzensportler von heute nicht mehr als Leitfigur für eine amaterielle, rein leistungsbezogene Denkweise anbieten kann. Ein echter Gegensatz zu einer materialistisch ausgerichteten Leistungswelt ist entfallen.

Aus **ärztlicher Sicht** ist es bedenklich, daß die Kommerzialisierung ein ungenügendes Auskurieren von Verletzungen beziehungsweise eine Mißachtung gegenüber Regenerationszeiten zwischen den Wettkämpfen fördert. Die kommerziellen Interessen von Veranstaltern und Verbänden kommen dem verständlichen Bereicherungswunsch des Athleten entgegen. So ist es menschlich absolut nachvollziehbar, daß ein Spitzensportler trotz einer leichten Verletzung an den Start geht. Der Zuschauer ist dann aber um die 100%ige Leistung betrogen, und der Athlet riskiert die Ausweitung eines Mikroschadens zu einem Makroschaden, der ihn vielleicht wochenlang zum Aussetzen zwingt.

Die Kommerzialisierung hat auch zu einer **Inflation internationaler Spitzenwettkämpfe** geführt. So gab es z.B. in der Leichtathletik zunächst nur nationale Meisterschaften, Länderkämpfe und alle vier Jahre die Olympischen Spiele. Dann kam zur Sommersaison die Wintersaison in der Halle, sobald genügend Leichtathletikhallen zur Verfügung standen. Der nächste Schritt bestand in der Ausschreibung von Hallenmeisterschaften auf nationaler, dann auf internationaler Ebene. Es folgte die Einführung von Europameisterschaften, Europa-Pokalwettbewerben und schließlich Weltmeisterschaften. So wird der Athlet von einem Höhepunkt zum nächsten gehetzt unter Mißachtung genügender Regenerationsphasen, die auch ein gesunder Athlet benötigt.

Eine ähnliche Situation entwickelte sich im Profi-Fußball-Sport und im Profi-Tennis. Statistiken im Jahr 2005 haben ergeben, daß unter den jeweils ersten 15 der Herren- und der Damen-Weltrangliste im Tennis niemand verletzungsfrei ist. Eine vergleichbare Situation besteht in den Profi-Fußball-Ligen.

Ein weiterer Nachteil der Kommerzialisierung entwickelte sich im immer größer werdenden **Mitspracherecht von Sponsoren**. Finanzierende Fernsehgesellschaften verlangen nicht nur eine für den Athleten eventuell ungünstige Wettkampfzeit, weil diese für das betreffende Fernsehen eine günstige Sendezeit bedeutet, sondern können darüber hinaus bestimmen, welche Sportart als fernsehattraktiv übertragen wird und welche nicht. »Orchideensportarten« könnten durch eine solche kommerzielle Entwicklung zum Aussterben verurteilt werden.

Die geschilderte veränderte Atmosphäre im Hochleistungssport unterstützte verständlicherweise auch die Ausbreitung von **Doping**

(s. S. 554). Darunter sind alle chemischen und physikalischen Maßnahmen zur Leistungssteigerung zu verstehen, die aber laut Dopingliste verboten sind. Folgende Gründe sprechen gegen Doping:

- Der Sport lebt von der Einhaltung der Regeln, die er sich selbst gegeben hat. Basisgedanke ist das Fair play. Doping verstößt gegen beides.
- Leistungssteigernd wirksame chemische Substanzen besitzen zwangsläufig Nebenwirkungen, die in ihrer gesundheitlichen Bedeutung im Einzelfall eventuell nicht kalkulierbar sind.
- Kinder und Jugendliche sollen trotz der oben genannten Einschränkungen auch heute noch Hochleistungssportler als persönliche Leitbilder annehmen können. Sollte bei den Vorbildern die Einnahme von Medikamenten bekannt sein, ist die Gefahr der Nachahmung groß, die gesundheitliche Konsequenz im Kindes- wie im jugendlichen Alter gegebenenfalls katastrophal.

Bedauerlich ist die Zwickmühle, in welche die sportmedizinische Forschung in Verbindung mit der notwendig gewordenen Dopinganalyse geraten ist. Ursprünglich dienten staatlicherseits der Sportmedizin zur Verfügung gestellte Steuergelder der Erforschung des gesundheitlichen Nutzens von Übung, Training und Sport vom Kindes- bis zum Greisenalter. Die ständig wachsenden Kosten für die Beschaffung von teuren Dopinganalysegeräten und für die Durchführung von gegebenenfalls Tausenden von Dopingkontrollen jährlich übersteigen z.B. in Deutschland heute bereits bei weitem die Kosten für die gesundheitsbezogene sportmedizinische Forschung. Diese Entwicklung ist aus der Sicht der Präventivmedizin bedauerlich.

Von besonderer Bedeutung sollte gerade auch aus der Sicht der Sportmedizin die Erhaltung des **Fair-play-Gedankens** sein. Presse, Rundfunk und Fernsehen tragen oft in unüberlegter Weise zur Abwertung des Fair play bei.

Zwei praktische Beispiele:

- Das Fernsehen überträgt ein Fußballspiel. Ein Stürmer läuft einer weiten Vorlage nach, erreicht den Ball und strebt ungehindert dem gegnerischen Tor zu, nur noch den Torwart vor sich. Kurz vor der Strafraumgrenze wird er brutal von einem gegnerischen Spieler von hinten umgetreten. Kommentar des Reporters: »Ein cleverer Bursche, wie er gerade noch in letzter Sekunde die Notbremse ziehen konnte.« Ein häßliches, brutales, eventuell die Gesundheit schwer schädigendes Foul wird auf diese Weise veredelt, die Übeltat mit »clever« als einem positiv klingenden Beiwort beschönigt. Das ist nicht mehr Sport, sondern Gladiatorenhandwerk, so vom Täter ausgeübt, daß es statt des möglichen Torerfolges des Gegners für die eigene Mannschaft nur einen »in Grenzen bleibenden Schaden« gibt.
- Ebenso unbedacht ist die häufig gemachte Bemerkung eines Kommentators, »Das Spiel wird härter«, wenn es sich in Wirklichkeit um das Aneinanderreihen von womöglich üblen Fouls handelt. Hart heißt erlaubter Körpereinsatz im Rahmen des Regelwerks, Foul hingegen bedeutet gegen das Regelwerk. Diese Begriffe müssen scharf voneinander getrennt werden.

Das Rad der Geschichte läßt sich auch im Sport nicht zurückdrehen. Infolgedessen muß man sich den Realitäten stellen und versuchen, aus ethischer, moralischer, sozialer und gesundheitlicher Sicht das Beste daraus zu machen.

Olympische Idee, olympischer Geist – das ließe sich heute definieren als leistungsbezogenes, sportliches Handeln im Geiste von Fair play, Völker- und Rassenverbindung.

Eine solche Formulierung würde im positiven Sinne allen heutigen Gegebenheiten gerecht werden. Auch der Breiten- und Gesundheitssport bemüht sich im Rahmen seiner Möglichkeiten um Leistung. Sprechen pathologische Befunde im Einzelfall dagegen, handelt es sich unserer später genannten Differenzierung nach nicht um »Sport«, sondern um »Übung« oder »Training« (S. 123). Neben dem gesundheitlichen Element kommt dem des Fair play und der Sozialisierungskomponente eine besondere Bedeutung zu. Darum muß die Vorstellung und Praxis des Fair play bereits im Schulunterricht, am besten in jeder einzelnen Sportstunde, neu belebt werden. Das erhöht gleichzeitig die Chance zu einem vergrößerten Fair-play-Anspruch im Alltagsleben.

Die Sportmedizin bemüht sich um die **Kanalisation unerwünschter Entwicklungen**. Folgende Ansatzpunkte bieten sich im Hochleistungssport an:

- Festlegung eines Mindestalters zur Teilnahme an internationalen Wettkämpfen (besonders z. B. im Frauenturnen).
- Limitierung der Zahl von internationalen Wettkämpfen seitens der Fachverbände selbst.

- Regeländerungen in solchen Sportdisziplinen, in welchen durch gewachsenen Athletismus gesundheitliche Gefahren zu groß geworden sind.
- Bessere sportmedizinische Information an Verantwortliche im Sport.
- Vermeidung von Verbandsmaßnahmen, die Doping provozieren könnten (z. B. Festsetzung von Normleistungen als Voraussetzung zur Teilnahme an Wettkämpfen).
- Vorgeschriebene sportärztliche Regeluntersuchungen im Profisport.

Die Erfahrung des Trainers oder gar des Sportlers selbst reicht heute nicht mehr aus, um die individuell mögliche Höchstleistung zu erreichen. Die Hauptformen qualitativ unterschiedlicher motorischer Beanspruchungen sind Koordination, Flexibilität, Kraft, Schnelligkeit und Ausdauer. Mit ihrer Charakteristik und Systematik, ihren Definitionen, den leistungsbegrenzenden Faktoren, Meßmethoden im Labor, ärztlichen Gesichtspunkten und den grundsätzlichen Methoden zur Steigerung der Leistungsfähigkeit soll hier näher vertraut gemacht werden. Zum besseren Verständnis ist eine kurze Darstellung von Grundlagen zum motorischen Leistungsverhalten vorangestellt.

1 Grundlagen zum motorischen Leistungsverhalten

Allgemeine Aspekte zur motorischen Leistungsfähigkeit

Die Motilität ist eines der Grundphänomene des Lebens. Pflanzlichen und tierischen Einzellern dienen Geißeln und Wimpern zur Bewegung. Die Entwicklung der Motilitätsorgane findet ihren Endpunkt in den hochspezialisierten Muskeln des tierischen Organismus. Ihre Fähigkeit zur aktiven Beweglichkeit beruht auf einer Wechselwirkung zwischen fibrillärer Proteinstruktur und Adenosintriphosphat (ATP). Dabei wird chemische Energie in mechanische Energie umgewandelt.

Die Befehlerteilung und Steuerung der Skelettmuskulatur erfolgt über 100 Milliarden Nervenzellen und 900 Milliarden Gliazellen im menschlichen Gehirn. Jede einzelne Nervenzelle stellt eine strukturelle und funktionelle Einheit dar (*Neuron*).

Grundlage des Lebens ist die **Zelle** (Abb. 1-1a-d). Über ein komplexes System von Membranen und Kanälen werden komplizierte Zellfunktionen wie die Synthese der Eiweißkörper der Zelle und die Bereitstellung der Enzyme für die Lenkung der Stoffwechselfvorgänge gesteuert.

Die wichtigsten Teile der Zelle sind:

- 1. Zellkern (Nucleus):** Hier findet die Synthese und Einlagerung von Desoxyribonukleinsäure (DNS) statt. Der Kern ist von einer Doppelmembran umgeben, die von vielfältigen Poren durchsetzt ist. Hierdurch kann die Messenger-Ribonukleinsäure (m-RNS) austreten. Ein kleiner, dichter Körper ist der Nucleolus, wo die ribosomale RNS-Synthese stattfindet.
- 2. Mitochondrien:** In der Matrix befinden sich die Enzyme des Zitronensäurezyklus und der Beta-Oxidation. Die oxidative Phosphorylierung und der Elektronentransfer sind mit der inneren mitochondrialen Membran verbunden. Die äußere Membran ist für viele kleine Moleküle frei durchgängig, viel weniger jedoch die innere.

- 3. Endoplasmatisches Retikulum:** Es handelt sich um ein Netzwerk von Doppelmembranen, welches sich durch die gesamte Zelle hindurchzieht und Hohlräume (Zisternen) einschließt. Die Oberfläche ist teilweise mit **Ribosomen** bedeckt, welche Proteine synthetisieren. In der Muskelzelle regelt das sarkoplasmatische Retikulum über Kalziumionen die Auslösung der Myofibrillenkontraktion.
- 4. Golgi-Komplex:** Er synthetisiert Proteine und Mukopolysaccharide. Die Eiweiße werden durch das endoplasmatische Retikulum zum Golgi-Apparat transportiert, wo sie glykosyliert und in kleine Blasen gepackt werden, die ihre Inhalte durch die Plasmamembran mittels Exozytose entlassen.
- 5. Lysosomen:** Membranbegrenzte Strukturen, die hydrolytische Enzyme enthalten. Sie werden vom Golgi-Komplex hergestellt. Lysosome (auch Lysosomata genannt) verschmelzen mit Bläschen, die entweder externes Material enthalten, welches die Zelle über Endozytose betreten hat, oder Zellinhalte.
- 6. Lösliche Fraktion:** Es handelt sich nicht nur um das Zytosol, in dem viele Reaktionen stattfinden, sondern auch um eine Vielfalt von elektronenmikroskopisch sichtbar werdenden Strukturen, die keine Membranen besitzen. Dazu zählen Mikrotubuli, Mikrofilamente und mikrotrabekuläre Gitterwerke (Porter u. Tucker, 1981).

Für die Leistungssituation der Zelle ist die Zusammensetzung der extrazellulären Flüssigkeit von größter Bedeutung (Glukose, Fettsäuren, Hormone, anorganische Substanzen u. a.).

Um sich ihren Aufgaben voll anpassen zu können, unterliegt die Zelle ständigen Wachstums- und Abbauvorgängen. Bestimmte Signale führen sowohl zu Zellerneuerungen als auch zum Zelltod. Zu den extrazellulären Signalen zählen die Wachstumsfaktoren, Hormone und Mitogene. Hormone wie Testosteron, Östrogen und Kortisol beeinflussen das Zellwachstum. Sie durchqueren die Zellmembran und wirken auf nukleäre Rezeptoren ein, wodurch regulatorische Vorgänge im Genom angestoßen werden. Wachstumsfaktoren wie IGF-1, der epitheliale Wachstumsfaktor EGF und Inter-

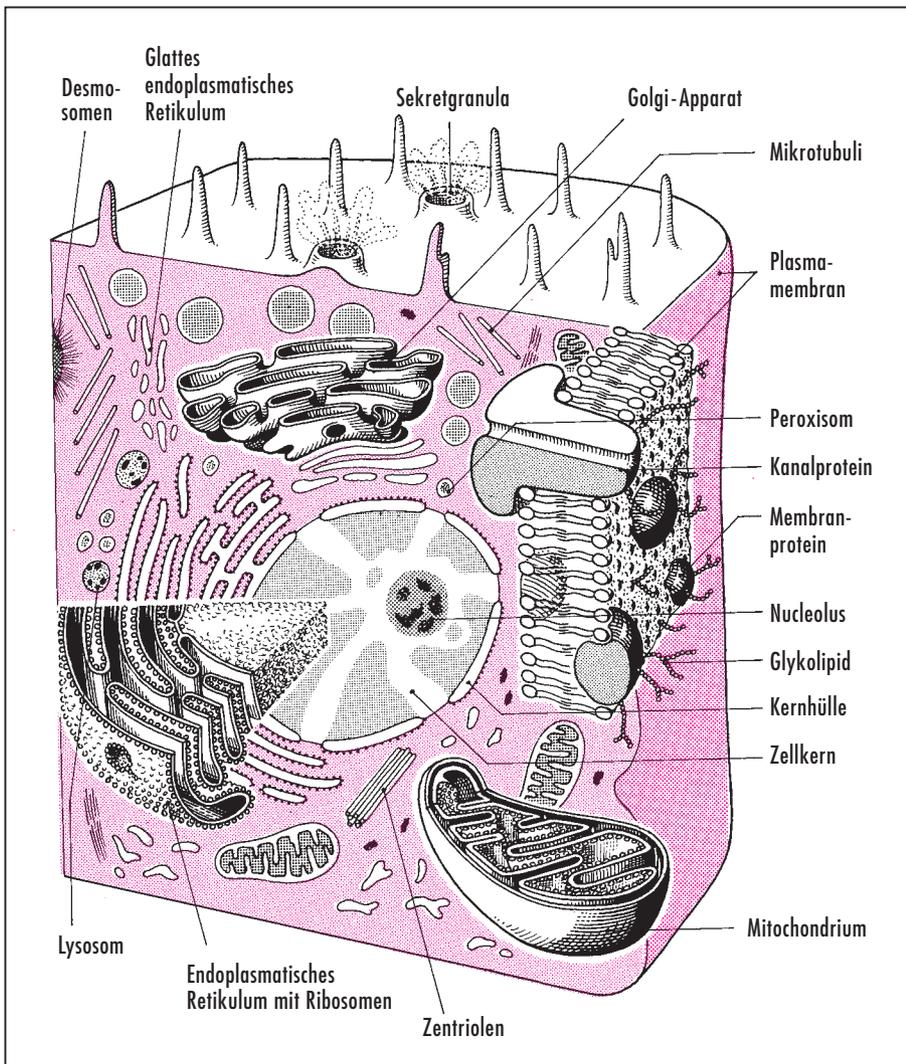


Abb. 1-1a. Struktur einer Zelle und ihrer wichtigsten Bestandteile (24 000fache Vergrößerung). Organisierte Zellbestandteile (Organellen) wie der Golgi-Apparat, ein Mitochondrium und Anteile des endoplasmatischen Retikulums sind hervorgehoben. Der Aufbau der Plasma- oder Zellmembran (rechts) ist etwa 6millionenfach vergrößert gezeigt und kann auch mit dem Elektronenmikroskop nicht aufgelöst werden. Sie besteht aus einer Phospholipid-Doppelschicht, in die Proteine eingelagert sind. Einige der Proteine bilden Kanäle oder Poren, über die das Zellinnere mit der Außenwelt Ionen und Moleküle austauschen kann. Das endoplasmatische Retikulum durchzieht die Zelle. Es ist teilweise mit Ribosomen besetzt, den Orten der Eiweißsynthese. Auch der Golgi-Apparat ist ein internes Hohlraumssystem mit der Funktion von Aufnahme und Ausscheidung von Stoffen. Mitochondrien sind die Kraftwerke der Zellen, die einzigen Orte des sauerstoffbezogenen Stoffwechsels. Lysosomen dienen der Abfall- und Fremdstoffbeseitigung (nach Birbaumer u. Schmidt, 1990).

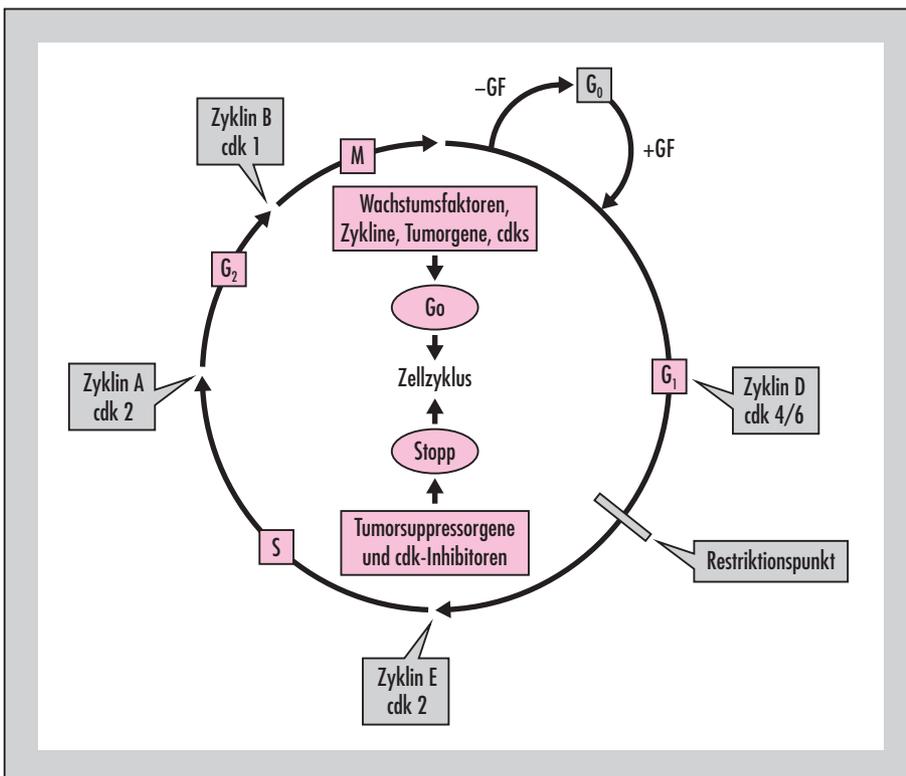


Abb. 1-1b. Schematische Darstellung des normalen Zellzyklus und ausgewählte regulatorische Elemente. Nach Stimulation durch einen Wachstumsfaktor entwickelt sich die normale Zelle über verschiedene Schritte des Zellzyklus mit Hilfe von regulatorischen Faktoren. Der Vorgang wird positiv durch Wachstumsfaktoren wie IGF-1 (vor dem Restriktionspunkt), Zykline, zyklinabhängige Kinasen (z.B. cdk4) und Onkogene (z.B. c-myc) beeinflusst und wird von Tumorsuppressorgenen wie auch von cdk-Inhibitoren unterdrückt (z.B. p53 wie p21) (nach Hoffman-Goetz et al., 2005).

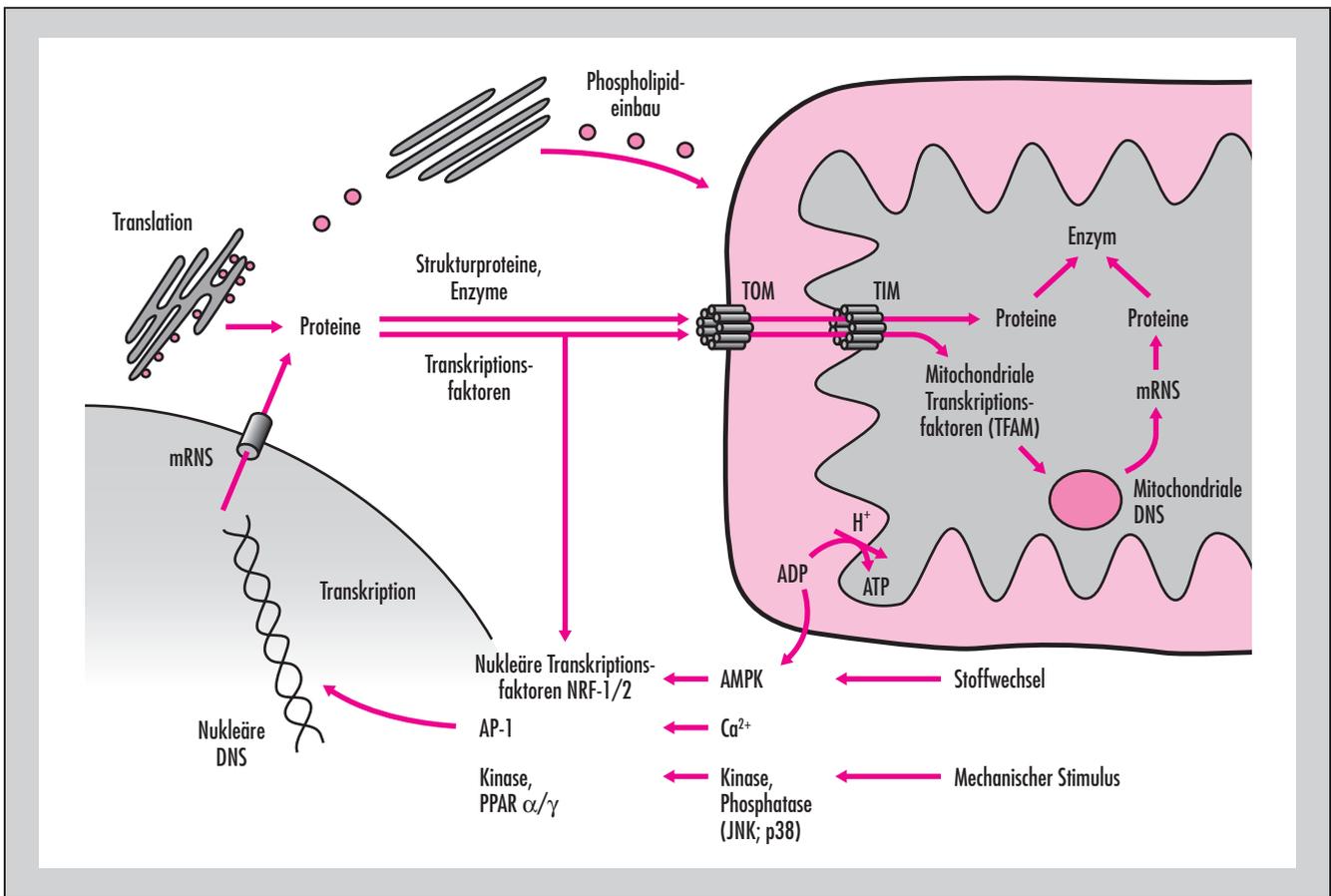


Abb. 1-1c. Signal- und Transportwege zur mitochondrialen Biogenese. TOM-TIM = Translokase der äußeren (TOM) und der inneren (TIM) Membran; JNK. AMPK = AMP-aktivierte Proteinkinase; PPAR = Peroxisomen-Proliferator aktivierte Kinase; p38 = mitogenaktivierte Proteinkinase; AP-1 = Proteinaktivator-1; NRF = nukleärer respiratorischer Faktor (nach Mooren, 2005).

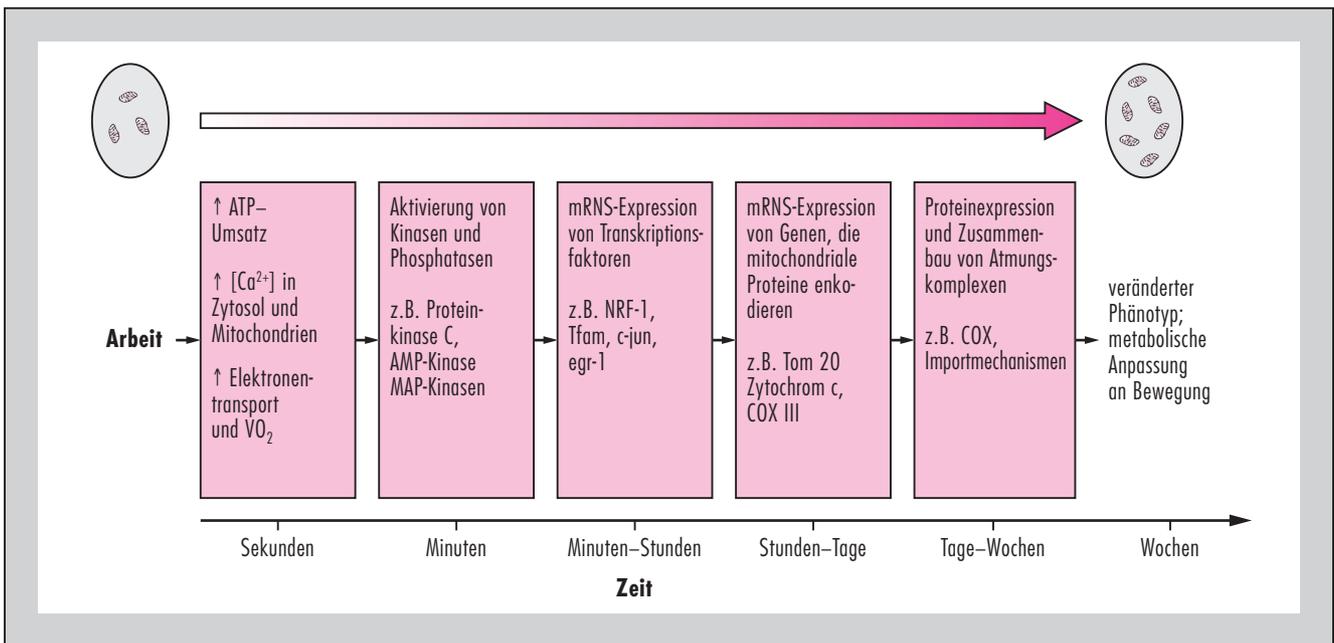


Abb. 1-1d. Trainingsbedingte Veränderungen der mitochondrialen Biogenese. COX = Cytochrom-c-Oxidase; NRF-1 = nukleärer respiratorischer Faktor; Tfam = mitochondrialer Transkriptionsfaktor A (nach Hood, 2001).

leukin-2 können die Zellmembran nicht durchdringen. Sie wirken daher über spezifische Plasmamembranrezeptoren. Sie schließen enzymähnliche Rezeptoren ein wie die Tyrosinkinase und die Serin/Threoninkinase-Rezeptoren, die mit zytoplasmatischen Kinasen verbunden sind (Abb. 1-1b,c,d).

Im Zytoplasma der Zelle oder im Zellkern befinden sich Steroidhormonrezeptoren für Androgene, Östrogene, Glukokortikoide und Mineralokortikoide, Thyroidhormone und Vitamin D (Sheppard, 2002). Wachstumsfaktoren verhindern den Zelltod durch verschiedene Signalwege. Ohne die notwendigen Wachstumsfaktoren reduziert sich die mitochondriale Funktion und führt schließlich zum Zelltod (Talapatra u. Thompson, 2001).

Der Zelltod wird differenziert betrachtet nach **Nekrose** und **Apoptose**. Nekrose ist ein passiver Prozess auf kataboler, toxischer oder pathologischer Ebene (Grogan et al., 2002). Nekrose geht mit spezifischen Entzündungsveränderungen einher. Im Gegensatz dazu stellt die Apoptose eine Form des programmierten Zelltodes dar (**»Selbstmordprogramm«**). Es kann z.B. durch Immunzellen von außen oder durch zellinterne Prozesse ausgelöst werden, beispielsweise nach Schädigung der Erbinformation. Apoptose ist als Teil des Stoffwechsels der Zelle zu betrachten. Sie unterliegt strenger Kontrolle und gewährleistet, dass die betreffende Zelle ohne Schädigung des Nachbargewebes zugrunde geht.

Zentren der Großhirnrinde entwickeln Bewegungspläne. Die zur Durchführung der gewünschten muskulären Arbeit notwendigen Impulse werden über motorische Nervenbahnen der zuständigen Muskulatur mitgeteilt. Gleichzeitig gehen Informationen an das vegetative Nervensystem, vor allem an den Sympathikus sowie die Hypophyse. Das sympathische Nervensystem verursacht auf nervalem Wege eine sehr schnelle, auf humoraalem Wege (durch Aktivierung der Katecholaminausschüttung seitens des Nebennierenmarks) eine etwas später wirksam werdende Umstellung von Herz, Kreislauf, Atmung und Stoffwechsel von Körperruhe auf Arbeit. Die vergrößerte mechanische Leistung der Skelettmuskelzellen ist nur möglich durch eine vergrößerte Energiefreisetzung, die ihrerseits einen gesteigerten Substanztausch zwischen interstitieller Flüssigkeit und Blutplasma zur Voraussetzung hat. Das Blut nimmt diesen Stofftransport, der der Ernährung und Entgiftung der arbeitenden Zellen dient, unter weitgehender Konstanthaltung des inneren Milieus vor. Der erwähnte vegetative Antrieb bewirkt durch Vergrößerung der Schlagfrequenz und des Schlagvolumens des Herzens eine erhöhte Herzförderleistung, womit mehr Blut pro Zeiteinheit der arbeitenden Muskulatur zur Verfügung gestellt werden kann. Gleichzeitig erfolgt eine Weitstellung der muskulären Gefäße und damit bevorzugte Durchblutung der arbeitenden Muskulatur, während zur Durchführung der Arbeit momentan nicht notwendige innere Organe in ihrer Durchblutung gedrosselt werden. Die arbeitsbedingte sympathische Reaktion bewirkt ferner die Mobilisierung von Zucker- und Fettreserven, welche dem arbeitenden Muskel zur Verfügung gestellt werden. Die Geschwindigkeit der Muskelreaktion wird erhöht, gleichzeitig auch die Blutgerinnungszeit intensiv verkürzt.

Alle genannten Veränderungen sind identisch mit der sogenannten **Streßreaktion**. Sie wurde in grauen Vorzeiten dem Individuum zur Erhaltung seines Lebens mitgegeben und diente der optimalen Umstellung von Ruhe- auf Kampfbedingungen. Der evtl. lebens-

rettende oder – im Falle des eigenen Angriffs – lebenserhaltende muskuläre Einsatz setzte alle genannten Mechanismen voraus. Eine verkürzte Blutgerinnungszeit diente dem Schutz vor Verblutung im Falle einer erlittenen Verletzung. Die starke muskuläre Beanspruchung mit dem entsprechenden Energiemehrverbrauch machte den Streß zu einer physiologischen Reaktion ohne gesundheitlich nachteilige Folgen. Er steht damit im Gegensatz zu Streßsituationen des heutigen Lebens, welche dieselben Reaktionen auslösen ohne nachfolgende muskuläre Belastung. Hierdurch wird der Streß unter Umständen allerdings zum Distreß, der das Auftreten von Herz-Kreislauf-Erkrankungen fördert (z. B. den Herzinfarkt).

Grundlage für jede motorische Leistung ist somit die Mobilisierung, die Utilisation und die Regenerierung von Energiequellen; dazu verhelfen der humorale und nervale Weg. Die Hormone fördern die Einhaltung von Homöostasegrenzen und sichern die Leistungsfähigkeit des Organismus bei muskulärer Tätigkeit.

Herz und Kreislauf sowie die eng hiermit verbundene Lungenatmung sind letztlich nur Diener des Stoffwechsels, welche in Verbindung mit dem Blut neben der Transportfunktion die lebenswichtige Konstanterhaltung von Wasserstoffionenkonzentration und Körpertemperatur besorgen. Die Größenordnung ihrer Inanspruchnahme hängt von der Größe der arbeitenden Muskelmasse, von der Qualität, Quantität und Intensität der Arbeit sowie von Umgebungsfaktoren ab. Die notwendige Abstimmung der verschiedenen Funktionen aufeinander und ihre Verbindung zu einem sinnvollen und lebensfähigen Ganzen gehen über Regulationen vonstatten, die der Organismus auf dem Nerven- und Blutweg in Gang setzt. Ihre Steuerung versucht man mit der Kybernetik zu erklären, wobei die Regulation in einzelne geregelte Vorgänge nach dem Vorbild des technischen Reglers aufgelöst wird.

Voraussetzung zur individuell größtmöglichen motorischen Leistungsfähigkeit ist das intakte Funktionieren des gesamten Organismus. Summarisch bestimmen folgende Grundfaktoren bei gegebenem Alter und Geschlecht die **Eignung für eine überdurchschnittliche Leistungsfähigkeit in einer bestimmten Sportart**:

1. Körperbaumerkmale (Länge, Gewicht, Proportionen),
2. Morphologie und Struktur der Organe sowie der Prozentsatz der fettfreien Körpermasse (lean body mass = LBM),
3. chemischer Aufbau der Organe,
4. nervale und hormonelle Steuerung.

Ad 1. Ein spezifisches Training führt zwar zu spezifischen Anpassungsvorgängen im Organismus, die sowohl morphologischer als auch funktioneller Art sind und eine Steigerung der Ökonomie und Leistungsfähigkeit in dem angepaßten System bewirken. Für überdurchschnittliche Leistungen müssen in manchen Sportarten jedoch durchweg noch zusätzliche Voraussetzungen hinsichtlich der **Körperbaumerkmale** gegeben sein. Im Hochsprung und im Basketball ist es ein überdurchschnittlich hoher Wuchs, im Geräteturnen ein relativ geringes Gewicht, im Gewichtheben sind kurze Arme vorteilhaft. Einer hoch funktionsfähigen Skelettmuskulatur (Krafftaktor) muß eine möglichst geringe inaktive Körpermasse (geringe Fettmasse) gegenüberstehen. So setzt der heutige Leistungsstandard in allen Sportdisziplinen den Rekordmöglichkeiten des einzelnen

trotz intensivsten Trainings individuelle biologische Grenzen, von denen eine anthropometrisch bedingt ist.

Ad 2. Morphologie und Struktur der Organe sind zwar anlagemäßig bestimmt, können jedoch durch ein entsprechendes Training beeinflusst werden. So vermag beispielsweise die Herzgröße durch ein Ausdauertraining um 50–100% zuzunehmen, wie sie durch Bewegungsmangel reduziert wird. Die Struktur eines Muskels oder eines Knochens paßt sich ebenfalls qualitativ und quantitativ veränderten Beanspruchungsbedingungen an.

Ad 3. Gleiches gilt für die **chemische Zusammensetzung**. So verfügt die Leber eines ausdauertrainierten Menschen über einen höheren Glykogengehalt als die eines untrainierten und ist vielfach insgesamt größer. Sie wird dadurch in die Lage versetzt, langfristig erhöhten Stoffwechselanforderungen bei länger dauernden Belastungen, beispielsweise Straßenradrennen, gerecht zu werden. Auch der Muskel adaptiert sich hinsichtlich Qualität und Quantität seiner Energiedepots und seines Enzymbesatzes. Ernährung, Energieversorgung, Energieumsetzung und Ökonomie sind hier von Bedeutung.

Auch der intrazelluläre Chemismus unterliegt den Auswirkungen von Training einerseits, Bewegungsmangel andererseits. Durch eine Beanspruchung auf aerobe dynamische Ausdauer wird die Zahl und damit das Gesamtvolumen der Mitochondrien in einer Muskelzelle vermehrt. Darüber hinaus ist nach einem Training bei vorher an Bewegung nicht gewöhnte Personen das Aktivitätsmuster in den Mitochondrien verändert (Abb. 1-1d), beim älteren Menschen z.B. in Richtung der Normwerte des Jüngeren. Die Vorgänge sind ferner mit einer Aktivitätsumstellung in den Genen verbunden.

Ad 4. Die **nervale und hormonelle Steuerung** entscheidet sowohl über die Qualität der Koordination als auch die Ökonomie aller Leistungsprozesse. So erfährt der Ausdauertrainierte in Körperruhe eine trophotrope Einstellung, die bei submaximaler Arbeit durch eine geringere Katecholaminausschüttung gekennzeichnet ist.

Diese wenigen Beispiele lassen erkennen, daß das Zusammenreffen optimaler genetischer und Trainingsbedingungen erforderlich ist, um auch heute noch Weltklasseleistungen erreichen zu können.

Neuromuskuläre Funktion

Voraussetzung zum Verständnis der funktionellen Vorgänge bei motorischen Beanspruchungen ist die neuromuskuläre Funktion. Die menschliche Bewegungsfähigkeit basiert auf der Vielfältigkeit im Kontraktions- und Erschlaffungsvermögen einiger 100 Muskeln, von denen jeder einzelne über viele Millionen von Muskelfasern verfügt. Die zentral-nervale Steuerung läßt das gewaltige Reservoir an Einzelbewegungsmöglichkeiten zu einem sinnvollen Ganzen werden. Der willentlich entstandene Bewegungsplan verbindet Agonisten und Antagonisten zu zielgerichteter Aktivität (Bewegungskoordination). Nervale Erregungs- und Hemmungsprozesse sind hieran wesentlich beteiligt. Die Übung eines Bewegungsablaufes verbessert die Koordination und führt zur Geschicklichkeit (Feinmotorik) und Gewandtheit (Gesamtmotorik) (siehe S. 140).

Zum Gehirn

Struktur und Funktion

Auf interdisziplinären Veranstaltungen sind sich Astronomen, Teilchenphysiker, Biologen und Ärzte verschiedenster Fachrichtungen in einem Punkt einig: Das menschliche Gehirn ist das komplizierteste, am wenigsten erforschte Gebilde im gesamten uns bekannten Universum. Es gehorcht nicht nur den üblichen Gesetzen von Physik und Chemie, sondern produziert darüber hinaus den sogenannten **»Seiner-selbst-bewußten-Geist«**. Dies beinhaltet die Fähigkeit zum abstrakten Symboldenken unter Ich-Bezug, Sprachanwendung und Zukunftsplanung.

Erst seine Existenz ermöglicht uns, uns selbst, unsere Umwelt und das gesamte Universum als Existenz zu erfassen. Gäbe es diesen Geist nicht, würde in dem uns bekannten Universum nichts existieren, welches die Schöpfung bewundern und seinen naturwissenschaftlichen Gesetzmäßigkeiten nachgehen könnte.

Das menschliche Gehirn (Abb. 1-2 u. 3) besteht aus ca. 100 Milliarden Nervenzellen (Abb. 1-4), wovon ca. 13 Milliarden Bestandteil des Großhirns sind. Die Nervenfunktion kann in vielfacher Weise moduliert werden.

Im Vordergrund stehen die **Synapsenbildungen**, wo die Erregung von einer Nervenzelle (**Neuron**) zur anderen mittels Überträgerstoffen (**Neurotransmitter**) oder elektrisch übertragen wird. Endknöpfchen der Nervenfaser (**Axon bzw. Dendrit**) bilden zusammen mit der anliegenden Membran des nachgeschalteten Neurons die Synapse (Abb. 1-5). Hier findet die Modulation der Übertragungen statt.

Die am meisten untersuchten **Neurotransmitter** sind Acetylcholin, Noradrenalin, Serotonin, Dopamin und Glutamat (alles erregende Transmitter) sowie Gamma-Aminobuttersäure (GABA) und Glycin (hemmende Transmitter). Neuropeptide sind mittel- und längerfristig wirkende neurochemische Botenstoffe, welche die Wirkung der Transmitter modifizieren. Von ihnen sind mehr als 100 chemisch unterschiedlich konstruierte bekannt. Durch das Eintreffen elektrischer Erregung in Form eines Aktionspotenzials werden in der Präsynapse Transmittermoleküle in den synaptischen Spalt ausgeschieden, welche vorher in Vesikeln (Bläschen) deponiert waren. Sie docken an bestimmten Rezeptormolekülen auf der postsynaptischen Membran an. Hierdurch aktivierte Rezeptoren beeinflussen entweder direkt oder indirekt über eine sogenannte **»Second-messenger-Kaskade«** die Ionenkanäle der postsynaptischen Membran. Sie öffnen sich und lassen entweder Natrium- oder Kalziumionen in die Zelle einströmen (Depolarisation) oder Kaliumionen austreten bzw. Chlorionen einströmen (Hyperpolarisation).

Den Zusammenschluß einer größeren Anzahl von Nervenzellen zu einer räumlichen und funktionellen Einheit bezeichnet man als **»Kern«** (**Nucleus**). Kerne sind untereinander durch Faserzüge verbunden, die aus den Axonen von Nervenzellen eines oder mehrerer Kerne bestehen.

Der große, windungsreiche obere Teil des Gehirns ist das **Großhirn (Cerebrum)**. Es unterteilt sich in eine linke und eine rechte Großhirnhemisphäre. Man unterscheidet einen Stirnlappen (Frontallappen), den Scheitel- (Parietal-), Schläfen- (Temporal-) und Hinterhauptslappen (Okzipitallappen).

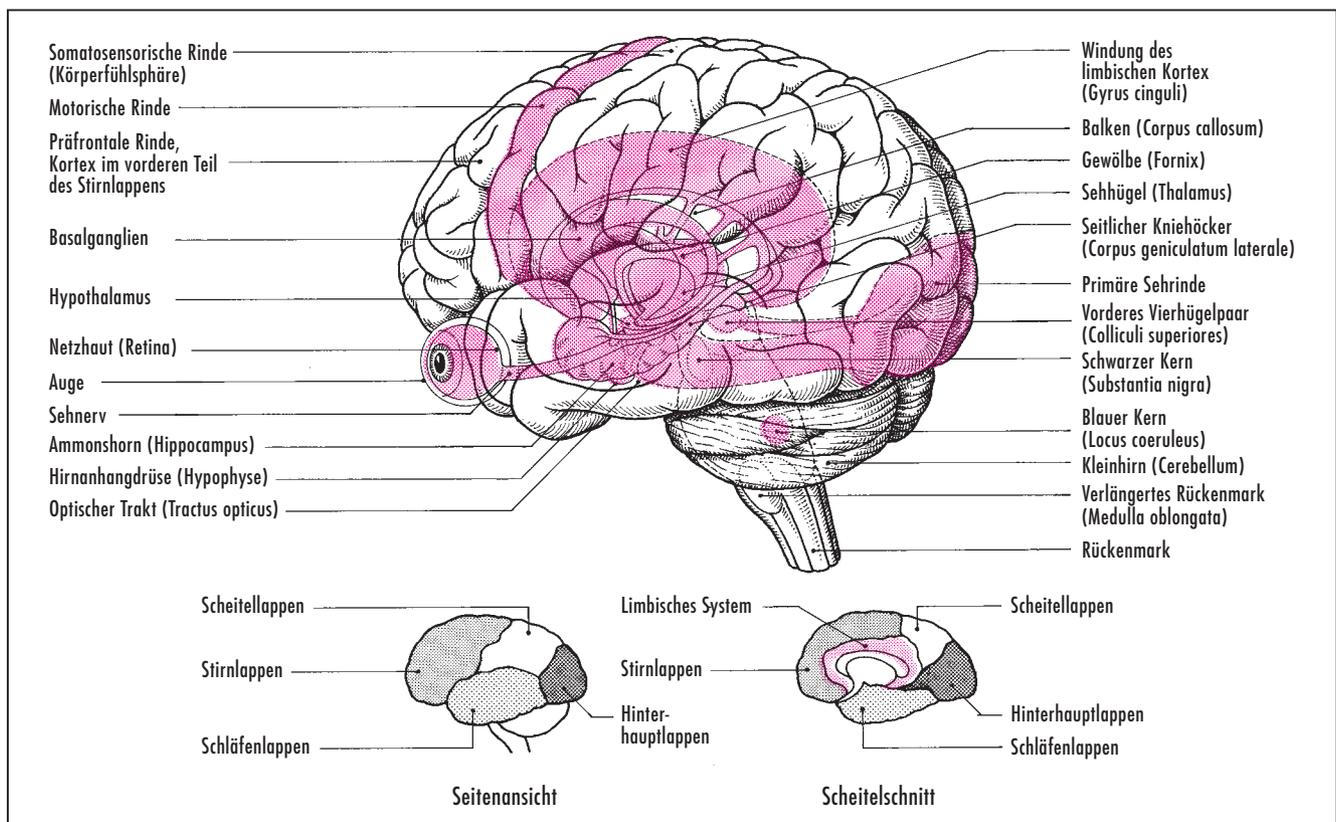


Abb. 1-2. Das Gehirn. Es umfaßt 100 Milliarden Nervenzellen und 1 Billion Zellen. Es stellt die Befehls- und Steuerzentrale des menschlichen Körpers dar und verbindet diese Funktionen mit Faktoren wie Intelligenz, Empfindungen und Bewußtsein. – Die beiden Hirnhälften (linke und rechte Hemisphäre) sind nur scheinbar symmetrisch und durch den Balken (Corpus callosum) miteinander verbunden. An der Hirnbasis befindet sich das verlängerte Rückenmark (Medulla oblongata) mit vegetativen Steuerungsfunktionen für Atmung, Blutdruck und Verdauung, und das Kleinhirn (Cerebellum). Letzteres koordiniert Bewegungen. Im Hirninnern befindet sich das limbische System mit seiner maßgeblichen Bedeutung für das emotionale Verhalten. Der Kortex wird in Vorder-, Schläfen-, Scheitel- und Hinterhauptlappen unterteilt (nach Fischbach, 1992).

Der **Stirnlappen** enthält sensorische, motorische und prämotorische Gebiete. Von besonderer Bedeutung ist der vorderste Teil des Stirnlappens (präfrontaler Kortex) aufgrund der Integration von sensorischen Informationen mit Handlungsplanungen. In der hierarchischen Struktur des Gehirnaufbaus stellt er gewissermaßen eine zentrale Befehlsstelle («**central governor**») dar. Diese Zusammenhänge sind gerade auch aus sportmedizinischer Sicht von Interesse, weil, wie an anderer Stelle dargestellt, unserer Auffassung nach der präfrontale Kortex eine mit entscheidende Rolle für die Begrenzung der körperlichen Leistungsfähigkeit spielt. Das mag sogar für die Symptomatik des Übertrainings zutreffen.

Der **Balken** ist das Gebiet, das die rechte und linke Großhirnhälfte miteinander verbindet und ihre Kommunikation untereinander ermöglicht.

Die **Formatio reticularis** ist verantwortlich dafür, daß im gesamten Gehirn oder in verschiedenen Gehirnregionen ein allgemeiner Zustand von Aufmerksamkeit und Bewußtsein herrscht. Zahlreiche Neuronen verbinden sie und viele andere lebenswichtige Gebiete miteinander.

Diese Befunde lassen angesichts der ungeheuren Neuroplastizität des Gehirns viele Möglichkeiten offen. Sowohl körperliche Bewegung als auch eine positive bzw. negative Gedankenwelt

wirken sich strukturell auf entsprechende Hirngebiete aus. Theoretisch könnte es dann gegebenenfalls möglich sein, z.B. durch ein betont rechtshändiges bzw. rechtsseitiges Training eine Dominanz des rechten präfrontalen Kortex – die unerwünscht ist – in das Gegenteil umzukehren. Experimente dieser Art stehen aber noch aus.

Das **Kleinhirn** betreibt die Feinregulierung der Muskeln und ist ein wichtiger Ort motorischen Lernens. Es empfängt außerdem Erregungen vom Gleichgewichtsorgan, den Muskelspindeln, den Hautsinnesrezeptoren, dem Auge und dem Ohr. Ferner hat es erheblichen Anteil an kognitiven Leistungen und an der Sprache (Leiner et al., 1991).

Der **Thalamus** ist die Hauptumschaltstation bei der visuellen, auditorischen und somatosensorischen Erregungsverarbeitung zwischen dem Telencephalon und anderen Teilen des Gehirns, z.B. dem Tectum und der Medulla oblongata.

Der **Hypothalamus** ist ein Zentrum zur Koordination lebenswichtiger Körperfunktionen und Verhaltensweisen wie Schlafen und Wachen, Atmung, Kreislauf, Sexualität und Aggression. Er ist Teil des limbischen Systems. Über die Hypophyse steuert der Hypothalamus den Hormonhaushalt des Körpers.

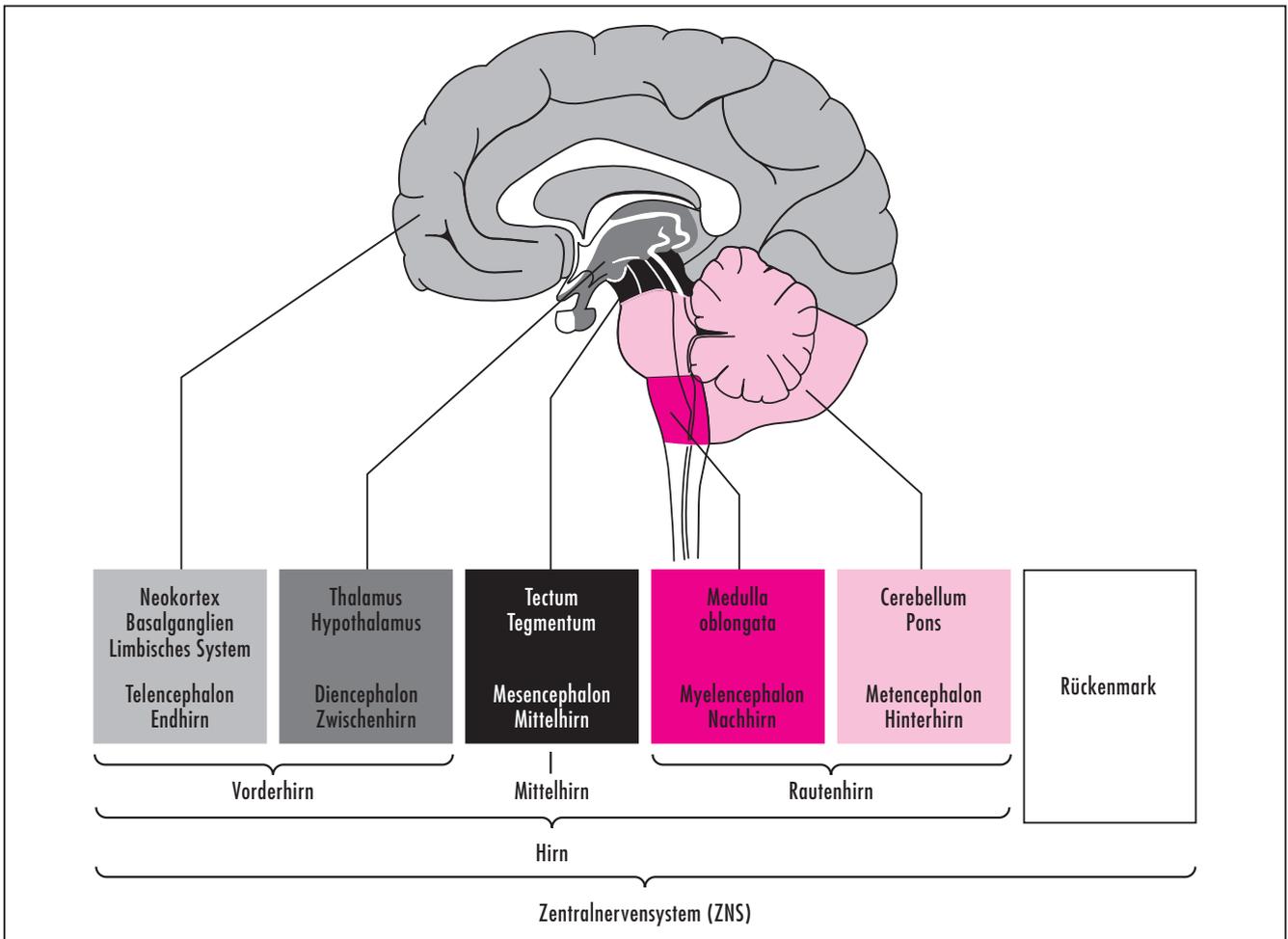


Abb. 1-3a. Hauptabschnitte des Gehirns in ihrer Größenordnung und Lage zueinander.

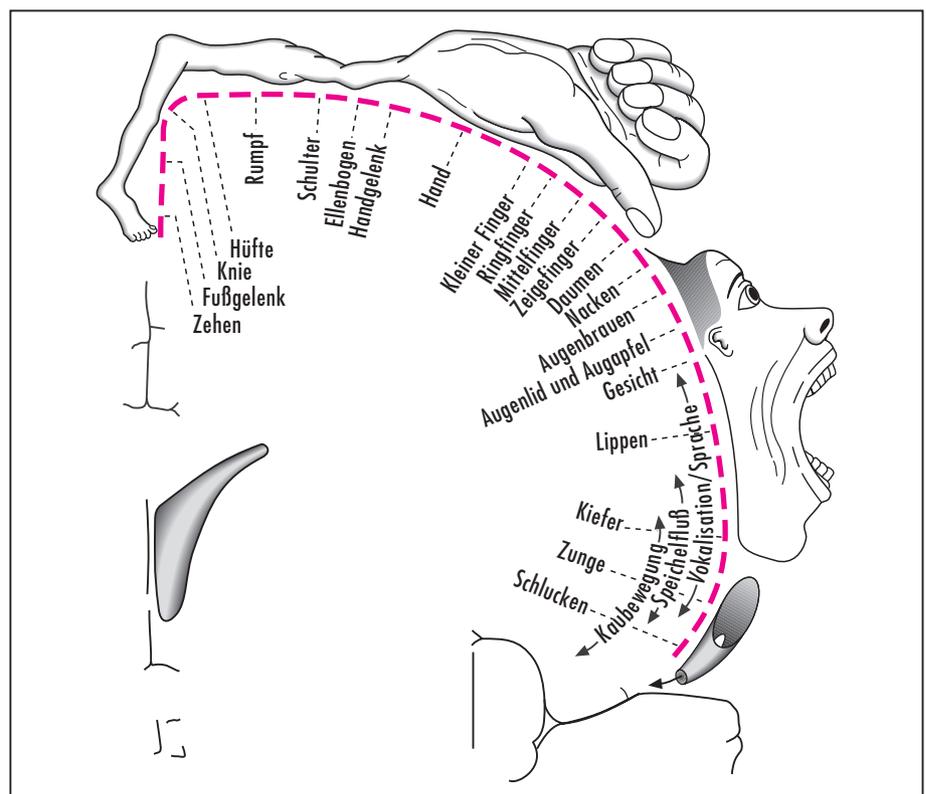


Abb. 1-3b. Größenverhältnisse der Repräsentation einzelner Körperabschnitte in der menschlichen Großhirnrinde (nach Penfield u. Rasmussen, 1950).