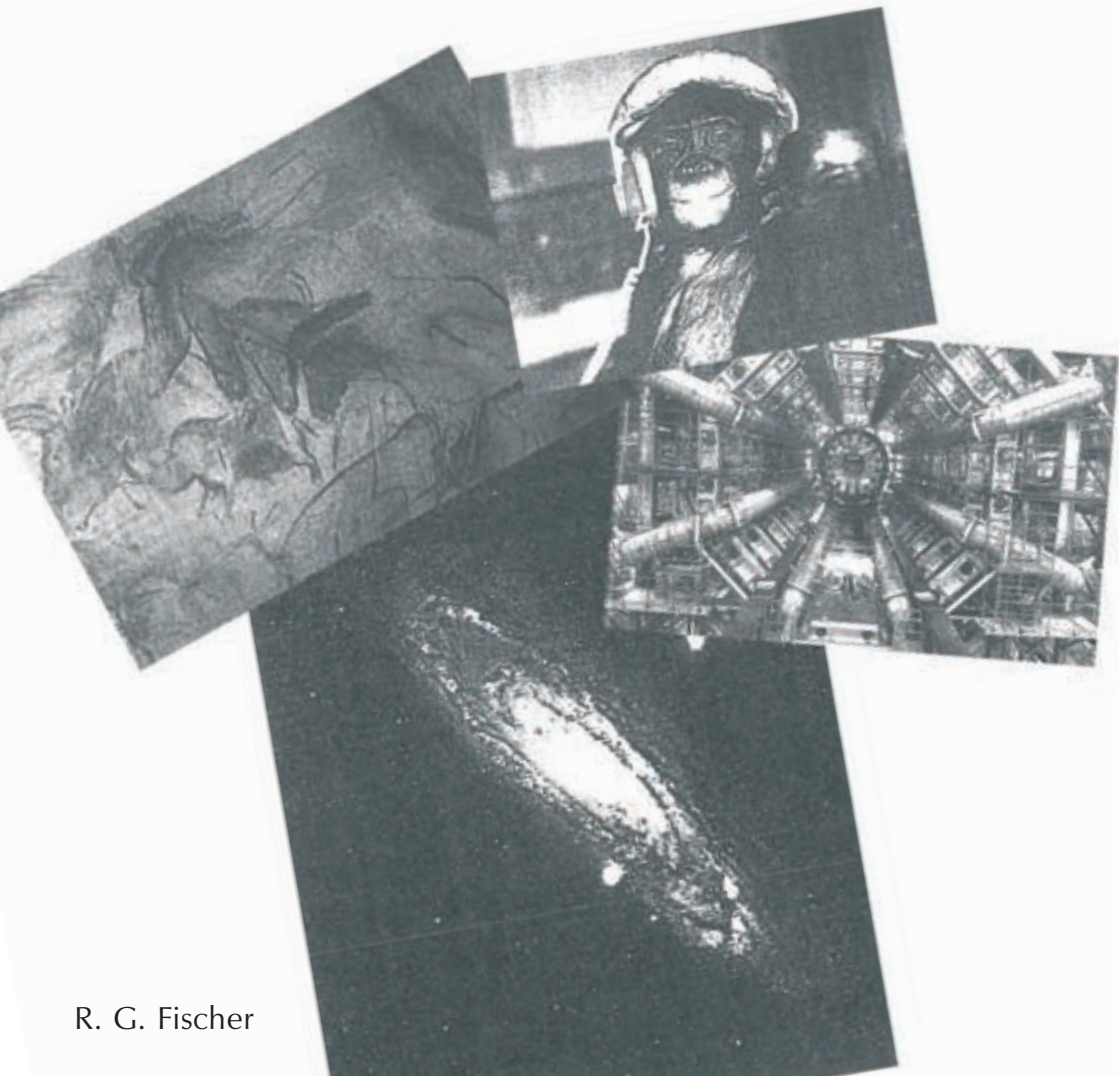


Eduard von Wyl

Von den Quarks ins dritte Jahrtausend

Evolution von Materie und Leben



R. G. Fischer

Unverkäufliche Leseprobe der Verlags- und Imprintgruppe R.G.Fischer

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung der Texte und Bilder, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung des Verlags urheberrechtswidrig und strafbar.

Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigung, Übersetzung oder für die Verwendung in elektronischen Systemen.

© Verlags- und Imprintgruppe R.G.Fischer Verlag

Eduard von Wyl

Von den Quarks ins dritte Jahrtausend

Evolution von Materie und Leben

R.G.Fischer Verlag

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.

© 2012 by author

Orber Str. 30, D-60386 Frankfurt/Main

Alle Rechte vorbehalten

Schriftart: Times 12 pt

Herstellung: RGF / bf

ISBN 978-3-8301-1634-9

*Für Sonia und Marc,
die nächste Generation*

Inhalt

Einleitung	17
1. DIE GEBURT DES UNIVERSUMS	25
Beweise für einen Anfang des Universums	25
Alter des Universums	29
Der Aufbau der Materie (der Zoo der Elementarteilchen) und die Kräfte der Physik	30
Elementarteilchenbeschleuniger	37
Der Ablauf des Urknalls	43
Dunkle Energie, dunkle Materie	49
Geometrie des Universums	59
Spekulationen über die ersten Augenblicke des Universums	63
Multiversum	69
Standard-Modelle der Physik	77
Die Naturgesetze des Universums	82
Die Kritik am Urknallmodell	87
Alternativen zum Standard-Urknallmodell bzw. Konkordanzmodell	92
2. DIE GEBURT VON GALAXIEN, STERNEN UND PLANETENSYSTEMEN	99
Protosterne	99
Supernovaexplosionen	100
Schwarze Löcher	103

Kosmische Strahlung	109
Galaxien	111
Sterne	121
Entstehung unseres Planetensystems (vor 4.5 Milliarden Jahren)	127
Entstehung des Mondes	132
Der Erd-Trojaner TK7	133
Plattentektonik (Erdgeschichte)	134
Extrasolare Planeten (Exoplaneten)	138
3. ENDE DES UNIVERSUMS	149
Das Zeitalter der leuchtenden Sterne (Alter 10^6 – 10^{14} Jahre)	149
Das Zeitalter der entarteten Sterne (Alter 10^{15} – 10^{39} Jahre)	150
Das Zeitalter der supermassiven Schwarzen Löcher (Alter 10^{40} – 10^{100})	156
Das Zeitalter der Dunkelheit (grösser 10^{100} Jahre) und das Ende des Universums	157
4. DIE EROBERUNG DES WELTRAUMS	159
Apollo-Programm	159
Weltraumsonden »Pioneer 10 und 11«	162
Weltraumsonden »Voyager 1 und 2«	163
»Kontrollmission Erde«	166
Weltraumstationen MIR und ISS und Weltraumlabor Columbus und ATV	168
Hayabusa der Japaner	173
Weltraumteleskop Hubble	174

Marssonden	175
Titansonden	181
Sonden der Monde Enceladus, Europa, Callisto, Ganymed und Thethys	183
Venussonden	185
Merkur-Sonden	186
Saturn-Sonden	187
Weltraumschrott	188
Mission Mond	189
Mission Mars	195
Tiefrieren, Hibernation und Hypothermie bei Organismen	198
Private Weltraumreisen	202
Das S.E.T.I.-Programm	204
Existieren andere intelligente Zivilisationen im Universum?	207
Zeitreisen und Wurmlöcher	210
 5. DIE GEBURT DES LEBENS	 213
RNA und DNA	213
Proteine	216
Proteinsynthese	216
Elemente des Lebens	221
Die Zusammensetzung der primitiven Erdatmosphäre	222
Präbiotische Synthese-Experimente	224
Die Synthese von Proteinpolymeren	231
Die Thioester-Welt als Vorläuferin der RNA-Welt	233

Die »RNA-Welt«	235
PNA (Peptide Nucleic Acid–Peptid-Nukleinsäure) ..	237
Submariner Ursprung des Lebens?	238
Weitere chemische Verbindungen als	
Lebensgrundlage für Mikroorganismen	241
Extraterrestrischer Ursprung des Lebens?	242
Computersimulationen von präbiotischer Chemie ..	246
Leben im Tiefengestein der Erde	247
Erste Protobionten	248
Bakterien	253
Paläontologische Funde von Prokaryonten	262
Viren	263
Ausserirdisches Leben	268
6. SYNTHETISCHE EVOLUTIONSLEHRE	271
Beweise für die Evolutionslehre	272
Genetische Variabilität als Evolutionsfaktor	275
SNPs (Single Nucleotide Polymorphisms)	283
CNVs (Copy Number Variants)	284
RNA-Editing	286
Epigenetische Modifikationen	287
Epigenetische Modifizierung der DNA und des	
Chromatins	289
Das Aguti-Gen der Maus	291
Transfer von Epigenetik-Merkmalen an die	
folgenden Generationen	291
Stress als Beispiel für Epigenetik	294
Selektion	296
Künstliche Selektion, sexuelle Selektion	300

Evolution durch Fusionen anstatt Mutationen	301
Evolution zu höherer Komplexität: Die Hox- und Mastergene (Architektur-Gene)	302
Circadianer Rhythmus	308
Orientierung im Raum	309
Biomechanik	311
Horizontale und vertikale Evolution	312
Artenstehung	315
Artenreichtum	319
Kritik an der Evolutionstheorie	323
Evolutionstheorie und Kreationismus (Intelligent Design)	330

7. VOM EINZELLER ZUR VIELFALT

DER ARTEN	333
Erste Eukaryonten vor 1.8 Milliarden Jahren	333
Die Endosymbiontenhypothese (Lynn Margulis, 1970)	336
Der universelle phylogenetische Baum	337
Erste Kolonien vor 1.5 Milliarden Jahren	339
Erste Sexualität	341
Plurizelluläre Mikroorganismen vor 2.1 Milliarden Jahren	343
Die Ediacara-Fauna des Präkambriums vor 575–580 Millionen Jahren	343
Die kambrische Explosion vor 530 Millionen Jahren	345
Erste Landpflanzen vor 450 Millionen Jahren	346
Die Wirbeltierevolution	349

Die fünf grossen Massensterben der Evolution	358
Das sechste Massensterben	364
War das Entstehen von Leben zufällig oder zwangsläufig?	365
8. VERLUST DER BIODIVERSITÄT	371
Biologische Vielfalt	371
Der biologische Reichtum, gemäss Edward O. Wilson	376
Biodiversität von Nutzpflanzen und Nutztieren ...	378
Gründe für den Verlust von Biodiversität	381
Verlust des tropischen Regenwaldes	384
Verlust von Mangroven	388
Verlust von Seegraswiesen	390
Verlust von Korallenriffen	390
Verlust von Ökosystemen in den Meeren und in der Tiefsee	392
Biodiversität in der Landwirtschaft	397
Renaturierung von Flüssen	399
Exotische Tiere und Pflanzen	400
Effekte der Klimaerwärmung auf Flora und Fauna	407
Erfolgreiche Wiederansiedelungen	412
Umweltgipfel in Rio de Janeiro und Johannisburg	414
Nagoya 2010	415
Entwicklung des WWF	416
Die Zukunft der Biodiversität	417

9. DIE EVOLUTION DES MENSCHEN	421
Schimpanse, Bonobo, Gorilla, Orang-Utan, Krallenaffen	421
Methoden	433
Die ersten Hominiden (Vormenschen)	435
Ardipithecus ramidus (»Ardi«)	438
Australopithecinen	439
Homo habilis	444
Homo rudolfensis	445
Homo georgicus	445
Homo ergaster	447
Homo erectus in Asien	448
Homo heidelbergensis in Europa	450
Homo neanderthalensis	451
Homo sapiens	459
The Great Leap Forward (Der grosse kulturelle Sprung, Paläolithikum: vor 40 000 Jahren)	464
Homo floresiensis (Hobbit)	468
»Buschförmige« Evolution der Hominiden	470
 10. DIE LANDWIRTSCHAFTLICHE REVOLUTION VOR 14 000–12 000 JAHREN (NEOLITHISCHE REVOLUTION)	 473
Domestizierung von Pflanzen	475
Bedeutung der Böden für die Landwirtschaft	478
Domestizierung von Tieren	486
Voraussetzungen für erfolgreiche Domestizierung von Tieren	493
Die Falknerei und Brieftauben	494

Aufzucht von Bienen	495
Verschiedene weitere Kompagnons	498
Landwirtschaft und Infektionskrankheiten	499
Einstige Nutztierzucht	501
Industrielle Massentierhaltung	502
Die Geschichte vom Pferd, Esel, Hund und der Katze	505
Töpferei, Metallurgie, Stickerei	506
Das historische Glück der Eurasier	508

11. DIE GEISTIG-KULTURELLE

SONDERSTELLUNG DES MENSCHEN	513
Neotenie	516
Aufrechter Gang	517
Gehirn	519
Die 4 Eigenheiten nach Marc Hauser	562
Charakter als Ausdruck der Persönlichkeit	563
»Savants« (»Gelehrte«)	566
Werkzeuggebrauch (Kultur)	574
Waffengebrauch	579
Sippenbildung	580
Populationswachstum	585
Das Lachen	587
Nonverbale Gestik	588
Die Wortsprache	590
Die Schrift	604
Tanzen	606
Sport	607
Musik und Gesang	609
Visuelle Kunst	615

12. DAS SOZIALE GEHIRN	623
Kommunikation	623
Die Soziobiologie Edward O. Wilsons	626
Aggressionen bei Primaten	627
Aggression beim Menschen	628
Die indischen Wolfskinder Kamala und Amala ...	632
Kooperation	640
Schwarm- und Herdenbildung (Gregarismus)	645
Reziproker Altruismus	649
Nicht-reziproker Altruismus und	
Gerechtigkeitssinn	651
Empathie	653
Solidarität	655
Verwandtschaftsselektion (kin selection)	656
Gruppenselektion	657
Heritabilität	659
Religion	660
Ethik	670
13. ZUKUNFTSPERSPEKTIVEN	681
Gehen wir einer Selbstzerstörung unserer	
Zivilisation entgegen?	681
Nuklearterror	681
Konventioneller Krieg	686
Bioterror	692
Giftgasterror	699
Supercomputer und Robotik	700
Nanotechnologie	704

Weltuntergang infolge Experimenten mit dem Teilchenbeschleuniger LHC in Meyrin?	709
Selbstbeschränkung der Naturwissenschaften? ...	711
Fehlprognosen bezüglich Technologien	714
Prognosen bezüglich Technologien	717
Perspektiven für die nächsten 5–7 Jahre gemäss IBM-Forschungszentrum Rüschlikon, Zürich	731
Zukunftsperspektiven für Gesellschaft und Biodiversität nach E. O. Wilson	735
Zukunft von Neuroenhancern (Hirndoping)	736
Proteomik	741
Zukunft der Keimbahngenänderung	743
Der Traum von der Unsterblichkeit (Altersforschung)	750
Auf dem Weg zum »Monon« (Superorganismus)? ..	770
 Schlussbetrachtung	 781
 Quellennachweis	 799
 Register	 805

Einleitung

Von den Quarks ins dritte Jahrtausend ist eine Zusammenfassung des Forschungsstandes über Evolution von Materie und Leben in unserem Universum.

In Meyrin, nahe Genf, im CERN, im Mekka der Elementarteilchenphysik, befindet sich die komplizierteste Maschine des Planeten, der LHC (Large Hadron Collider).

In einem 27 km langen kreisrunden Tunnel, in 100 m Tiefe, werden mittels Magneten in einem sehr dünnen Kanal Hadronen (das sind Protonen, Neutronen, Bleikerne) auf fast Lichtgeschwindigkeit beschleunigt. Diese Hadronen kollidieren mit andern Hadronen, welche in einem ebenso dünnen 2. Kanal auf entgegengesetzte Umlaufbahn geschickt worden waren. Wo die sehr dünnen Kanäle zusammengeschaltet werden, kommt es zu Kollisionen, welche mit vier gigantischen Detektoren analysiert werden. Die Kollisionen erzeugen Sekundärteilchen, welche Rückschlüsse zulassen über die Natur der Primärteilchen.

Die Physiker hoffen, das Higgs-Boson nachweisen zu können. Im theoretischen Modell sind alle Teilchen masselos; das Higgs-Boson gibt ihnen vielleicht eine Masse. Ausserdem, wenn die Theorie der Supersymmetrie stimmt, so gibt es nicht nur die 12 Elementarteilchen, die wir kennen, sondern doppelt so viele, 24. Vielleicht gelingt den Physikern der Nachweis solcher Teilchen.

Der Urknall war der Beginn von Zeit, Raum und Materie. Aus

einer primären Kraft spalteten sich die vier Kräfte ab (elektromagnetische Kraft, starke Kraft, schwache Kraft und Schwerkraft). Das Universum entstand durch eine »Quantenfluktuation der Vakuumenergie«. Wir werden den Ablauf des Big Bang im Detail diskutieren. Abgesehen von dessen Beginn, sind sich die Physiker einig über den Ablauf des Urknalls.

In unserem Universum ist heute 73 % der gesamten Energiedichte eine unbekannte Form von Energie (dunkle Energie), 23 % der Energiedichte eine unbekannte Form von Materie (dunkle Materie) und nur 4 % der Energiedichte ist normale, mehr oder weniger leuchtende Materie. Das ist das Mainstream-Modell (Konkordanzmodell). Für eine Minderheit ist das noch lediglich eine »Baustelle«.

Das Konkordanzmodell geht auf die Forschung zweier Teams zurück, welche Supernovas (Explosionen grosser Sterne) untersuchten (1998). Aus der Leuchtkraft kann man die Distanz und aus der Rotverschiebung deren Geschwindigkeit berechnen. Sie kamen zum Schluss, dass die Ausdehnung des Universums sich beschleunigt hat, insbesondere während der letzten 6–7 Milliarden Jahre.

Konzentrieren wir uns auf die Planeten und Monde unseres Sonnensystems: Relativ häufig findet man Wasser: gefrorenes Wasser auf Mars (Phoenix-Mission). In einigen km Tiefe diverser Monde vermutet man ebenfalls, dank Radarmessungen Wasser, z. T. mit Ammoniak vermischt. Es betrifft dies: Titan, Enceladus und Tethys (Saturnmonde), Europa, Ganymed und Callisto (Jupitermonde).

In der Astrophysik geht es um Bildung, Existenz und Ende von Protogalaxien, Galaxien, Galaxienhaufen, Sonnen,

Planetensystemen, Planeten, Exoplaneten und Schwarzen Löchern.

In unserem Universum gibt es nicht weniger als 100 Milliarden Galaxien, wobei jede Galaxie aus 100 Milliarden Sonnen besteht.

Wahrscheinlich gibt es eine Vielzahl von Universen; wir haben es mit einem »Multiversum« zu tun.

Gegenwärtig findet die Jagd nach Exoplaneten statt. Laufend werden neue gefunden. Man möchte Schwestern-Erden entdecken. Man findet übrigens regelmässig Planetensysteme, die sich vom unsrigen unterscheiden. Die Liste der Bedingungen für einen Schwestern-Planeten wird immer länger. Trotzdem bleibt die Wahrscheinlichkeit für die Existenz eines Schwestern-Planeten sehr gross.

Die Qualität der Forschung hängt zu einem grossen Teil von der Präzision der Forschungsinstrumente ab. In der Astrophysik und Physik gehören hiezu Teleskope mit Detektoren für sichtbares Licht oder Infrarotstrahlung, Radioteleskope, Elementarteilchenbeschleuniger, Satelliten u.a.

In der Biologie braucht man DNA-Sequenziermaschinen oder Massenspektrometer u.a.

Es existieren internationale Teams von Spezialisten, wo jeder über ein ganz bestimmtes Know-how verfügt.

Drei Beispiele: Die Supernovaexplosion SN 2008 D, die sich am 9. Januar 2008 90 Millionen Lichtjahre entfernt in der Galaxie NGC 2770 abspielte. Der Röntgensatellit SWIFT der NASA war zufällig auf diese Himmelsrichtung gerichtet. Ein Forscherteam der Universität New Jersey beobachtete dieses Ereignis. Neben dem Hubble-Raumteleskop

kamen auch erdgebundene Radioteleskope sowie optische Teleskope in Kalifornien, New Mexiko und Hawaii zum Einsatz. Alicia Soderberg und nicht weniger als 42 Kolleginnen und Kollegen publizierten die Resultate im »*Nature*«.

Ein weiteres Beispiel ist die ISS, die gegenwärtig im Zentrum der Weltraumforschung steht.

Sie wurde in Zusammenarbeit von der NASA, EU, Russland und Japan erstellt und wird von diesen Staaten unterhalten.

3. Beispiel: Die EU, Japan und die Schweiz teilen sich die Arbeiten im Projekt »zweieinhalbjähriges Roboter-Baby.« In jedem der 15 Labors für künstliche Intelligenz hat es einen Neurobiologen, einen Ingenieur, einen Informatiker und eine Psychologin.

Die Amerikaner sind immer noch führend in der Weltraumforschung; die EU hat aber stark aufgeholt. So freuen sich die Europäer an ihrem Transportgefährt ATV (»Jules Verne«-Automated Transfer Vehicle), das dank Fern- und Lasersteuerung fast zentimetergenau am ISS andocken kann. Oder am VLT (Very Large Teleskop) in der chilenischen Atacama-Wüste, das als aktuell bestes Teleskop gilt. Private Weltraumfahrten sind vorgesehen, für 150 000–200 000 Dollar. Allerdings ist das Problem der Russ- und CO₂-Abgabe noch nicht gelöst.

Gemäss der Vorstellung des theoretischen Physikers Michio Kaku gab es im 20. Jahrhundert 3 technische Revolutionen: die Quantenrevolution, die DNA-Revolution und Computerrevolution. Die grundlegenden Gesetze von Materie und Leben sind bekannt. Wir sind mitten in der Regulation, der Choreografie dieser Gesetze.

Für Kaku verdoppeln sich die menschlichen Kenntnisse alle 10 Jahre, Computerkenntnisse alle 1 bis 2 Jahre und Internetkenntnisse alle Jahre.

Über die Big-Bang-Theorie ist man sich prinzipiell einig. Niemand zweifelt daran, dass die Evolution der Materie mit Elementarteilchen begann usw. Ausnahme: Über die Singularität und die Inflation gibt es verschiedene Auffassungen. Auch dass 96 % der Energiedichte aus etwas besteht, was man noch nicht wirklich kennt, ist manchem Physiker nicht geheuer. Über die Geburt des Lebens weiss man hingegen noch sehr wenig. Es gibt 3 hauptsächliche Hypothesen: Leben entstand entweder in Hydrothermalquellen auf dem Meeresgrund (Schwarze Raucher), oder es ist extraterrestrischen Ursprungs via Mikrometeoriten und Kometen, oder es entstand in der Atmosphäre und wurde Teil der Ursuppe.

Wie die präbiotischen Experimente Stanley Millers 1953 zeigten, lassen sich Aminosäuren relativ leicht aus H_2 , CH_4 , NH_3 und H_2O synthetisieren. Bei den Nukleotiden ist dies bedeutend schwieriger. DeDuve glaubt an seine Thioesterwelt als Vorstufe der RNA-Welt.

Wie kleine Moleküle sich zu Nukleotiden entwickelten, dieser Schritt ist noch nicht geklärt.

Von den Nukleotiden zur RNA ist es ein relativ leichter Schritt. RNA können Syntheseschritte katalysieren. Von der RNA ging es zu DNA und Proteinen. DNA ist das Gedächtnis von Zellen. Die DNA »täuscht sich« um ein Nukleotid auf eine Milliarde Nukleotide, die RNA um ein Nukleotid auf 100 000 Nukleotide und ein Protein um eine Aminosäure auf 10 000 Aminosäuren.

Zuerst wurde die Anzahl menschlicher Gene auf 100 000 geschätzt, dann auf 50 000, dann auf 30 000–40 000, dann auf 20 000–25 000 und schliesslich auf 19 000–20 000.

Die Nukleotidsequenz ist seit 2003 bekannt. Jetzt müsste man eigentlich meinen, dass der Mensch »definiert« ist. Keinesfalls. Es gibt noch die Epigenetik, welche die Genetik choreografiert und möglicherweise ein Teil der »Umwelt« ist.

Die Genetik hat von ihrem deterministischen Schock verloren. Für den Genetiker Emeritus Hansjakob Müller, Universität Basel, macht die Genetik bei Krankheiten 5 bis 10 % aus, bei weiteren 20 % ist sie noch von gewisser Bedeutung und bei 70 % sind epigenetische Phänomene entscheidend. Nur 1.2 % der DNA codiert für Proteine. Daneben gibt es noch springende Gene, Mikro-RNA, integrierte Viren-Gene usw.

Für Craig Venter gibt es 6.7 Milliarden Genome auf unserem Planeten. Jeder Mensch ist einzigartig. Er besitzt sein eigenes Genom, sein eigenes Gehirn, sein eigenes Immunsystem, seine eigene Bakterienflora usw.

CNV (Copy Number Variants) werden ins Genom eingebaut oder entfernt (Genduplikationen, Gendeletionen).

Für die Evolution sind Genduplikationen und springende Gene das Wichtigste; sie modellieren das Genom.

Der Zoologe Ernst Mayr glaubte noch in den 1960er-Jahren, dass jedes der etwa 40 verschiedenen Augen in der Natur einmal erfunden wurde. Umso grösser war das Erstaunen, dass Insektenaugen und Mäuseaugen zum Teil gleiche Augenproteine besitzen. Es ist, wie der Nobelpreisträger François

Jacob vor 30 Jahren erwähnte, dass die Natur nicht wie ein Ingenieur arbeite, sondern bastle. Es sind immer wieder dieselben Gene, die benützt werden. Dies trifft zu für die Hox- und Mastergene (Architekturgene), welche den Bauplan bestimmen.

Gemäss Darwin überleben die fittesten Organismen (Selektion). Dieses Dogma scheint ins Wanken gekommen zu sein. Es ist Kooperation dazu gekommen, welche das Überleben der Tüchtigsten ergänzt oder ersetzt (Joachim Bauer u.a.).

Noch vor einigen Jahrzehnten glaubte man, dass eine »gerade« Linie zum *H. sapiens* geführt habe. Heute spricht man von »buschförmiger« Evolution: Einzelne Homos erschienen, lebten gleichzeitig mit anderen Spezies und verschwanden wieder. Ihre Anzahl wird auf mindestens 20 geschätzt. Allerdings ist es schwierig, einzelne Arten auseinanderzuhalten. *H.-georgicus*-Funde waren sehr unterschiedlich, wurden jedoch am selben Ort gefunden und deshalb als gleiche Spezies taxiert.

Auch die Evolution als Ganzes ist nicht linear erfolgt. So gab es 5 grosse und 20 kleine Massensterben. Vor 245 Millionen beispielsweise wurden 56 % der Familien und 77–96 % aller Tierarten ausgelöscht.

Die physikalischen Gesetze haben schliesslich zum intelligenten *H. sapiens* geführt.

Die Frage, war dies zufällig oder planmässig, wird als eine zentrale Frage diskutiert werden.

1.

DIE GEBURT DES UNIVERSUMS

Beweise für einen Anfang des Universums

Ende der 1920er-Jahre gelang dem amerikanischen Astronomen Edwin Hubble, dem Forscher, nach dem heute das berühmte Weltraumteleskop benannt ist, eine der revolutionärsten Entdeckungen unseres Jahrhunderts. Er konnte mit der sogenannten Rotverschiebung bzw. dem Dopplereffekt beweisen, dass die Galaxien sich voneinander entfernen. Vorher glaubte man, das traf auch für Albert Einstein zu, an ein statisches Universum. Unter Rotverschiebung verstehen wir die Tatsache, dass die dunklen Linien in den Spektren heller Sterne gegenüber ihrer normalen Lage im Spektrum der Sonne ins Rot verschoben sind. Geschwindigkeiten lassen sich anhand der Rotverschiebung ziemlich genau bestimmen. Für eine Galaxie, die beispielsweise eine Million Lichtjahre von uns entfernt ist, beträgt die Fluchtgeschwindigkeit 15 000 km pro Sekunde. Galaxien bewegen sich rascher von uns fort, je weiter sie von uns entfernt sind. Zu Hubbles Zeiten dauerte das Messen einer Rotverschiebung noch mehrere Nächte, obwohl diese Messung mit dem damals grössten Fernrohr vorgenommen wurde. Ähnliche Messungen dauern heute nur noch einige Minuten mit einem 1.5-Meter-Teleskop. Nur schauen die Astronomen längst nicht mehr durch Okulare. Sie benutzen Detektoren

und Spezialekameras; die Superteleskope werden ferngesteuert.

Lichtgeschwindigkeit (im Vakuum) 299792 km /Sek.

1 Lichtjahr: 9460 Milliarden km (9.46×10^{12} km)

Distanz Sonne–Erde: 8 Lichtminuten (150 Millionen km, 1.5×10^8 km)

Distanz Erde–Mond: 384 000 km

Wenn es eine Expansion des Universums gibt, so muss irgendwann einmal diese Masse auf einen Punkt konzentriert gewesen sein. So entstand die Theorie vom Big Bang (Urknall). Alle Energie des Universums muss sich aus einer ungeheuer dichten Form auseinanderbewegt haben. Es war keine eigentliche Explosion, sondern eine ungeheuer rasche Expansion. Der russische Mathematiker und Physiker Alexander Friedmann vertrat schon 1920 die Idee, dass das Universum vor etwa 10 Milliarden Jahren »aus dem Nichts« entstanden sei und dass die Ausdehnung weitergehe.

Die Idee eines Big Bang wurde 1929 auch durch Georges Lemaître, einem belgischen Geistlichen, geäußert, und der niederländische Astronom Willem de Sitter kam zum selben Schluss.

Die Urknalltheorie wurde schliesslich 1965 durch die Radioastronomen Arno Penzias und Robert W. Wilson untermauert, die mit ihrem Radioteleskop zufällig die kosmische Hintergrundstrahlung entdeckten. Penzias und Wilson erhielten für ihre Entdeckung den Nobelpreis von 1978. Diese Strahlung ist Reststrahlung des Urknalls. Es muss sich beim Big Bang um eine ungeheuer heisse Expansion gehandelt haben.

Bereits in den 1940er-Jahren hatten der russische Physiker George Gamow und Mitarbeiter die Existenz der kosmischen Hintergrundstrahlung vorausgesagt.

In der Umgebung von einigen Millionen Lichtjahren herrscht heute im Universum eine sehr niedrige Temperatur. Diese von den beiden Radioastronomen entdeckte Mikrowellenstrahlung oder Hintergrundstrahlung entspricht einer äquivalenten Wärmestrahlung von 3.5 Grad Celsius über dem absoluten Temperaturnullpunkt, der niedrigst möglichen Temperatur, die bei -273 Grad Celsius liegt. Die Kelvin-Skala ist eine geeignete Temperaturskala, die die Temperatur in Celsius-Graden über dem absoluten Nullpunkt misst. So sind 296 Grad Kelvin 23 Grad Raumtemperatur, bei 373 Grad Kelvin siedet das Wasser und die kosmische Hintergrundstrahlung beträgt 3.5 Grad Kelvin. Die Temperatur wurde infolge Expansion immer niedriger. So betrug die Temperatur vor 6 Millionen Jahren noch ungefähr das Doppelte, nämlich 6 Grad Kelvin.

Mit den Satelliten COBE (1989) und WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, 2003) wurde die fossile Hintergrundstrahlung vermessen. Der Wert wurde auf 2.726 Grad Kelvin korrigiert. Vor allem der WMAP-Satellit hat bestechend scharfe Bilder vom Rest der fossilen Hintergrundstrahlung geliefert. Er zeigte das Gesicht des Universums 380 000 Jahre nach dem Urknall, wo Temperaturen von 3000 Grad Kelvin herrschten. Das Universum begann sehr heiss, voll mit energiereicher kurzwelliger Strahlung, aus der jetzt kühle, energiearme Mikrowellenstrahlung geworden ist. Es gab bereits Mikroinhomogenitäten in der

Größenordnung von einem Hunderttausendstel Grad, welche sich später zu Galaxienhaufen entwickelten. Für die Astronomie war ein goldenes Zeitalter angebrochen. April 2009 startete der Satellit PLANCK der ESA (Europäische Weltraumbehörde), der noch detailliertere Resultate liefern dürfte. Es könnte erstmals möglich werden, in der Hintergrundstrahlung Fingerabdrücke von »Gravitationswellen«, die von der Inflationsphase herrühren, zu machen. Wir werden auf die Inflationsphase noch weiter eingehen.

Max Planck war deutscher Physiker (1858–1947), Nobelpreisträger in Physik und gilt als Begründer der Quantenphysik.

2006 gab es Nobelpreise in Physik für die Amerikaner George Smoot und John Mather für die Analysen der Hintergrundstrahlung bzw. die Mission mit dem Satelliten COBE.

Die dritte Säule der Urknalltheorie, neben Rotverschiebung und Hintergrundstrahlung, ist die »Nukleosynthese.« In den 1960er-Jahren hat man eine auffällige Häufigkeit der Wasserstoffatome und Heliumatome im Universum beobachtet. (75 % Wasserstoffatome und 24 % Heliumatome). Die Häufigkeit schwerer Atome beträgt lediglich 1 %. Diese Befunde stimmen mit der Theorie überein, dass 100 % Wasserstoffatome sowie 90 % der Heliumatome direkt aus dem Urknall stammen; 10 % der Heliumatome wurden in den Sternen synthetisiert.

Alter des Universums

Aus Fluchtgeschwindigkeit und Entfernung der Galaxien lässt sich das Alter des Universums abschätzen. Es beträgt ungefähr 15 Milliarden Jahre. Unabhängig davon kommt von einem andern Wissenschaftszweig ein Beweis für dieses Alter: Die relative Häufigkeit verschiedener Isotopen auf der Erde (besonders der Uranisotope U-235 und U-238) deutet darauf hin, dass unsere Galaxie 10–15 Milliarden Jahre alt ist. Weiter ist das Alter der Sterne des Kugelsternhaufens relevant. Es handelt sich um die ältesten Sterne des Universums. Bekanntlich leuchten Sterne, weil in ihrem Innern Kernfusionen stattfinden. Aufgrund der Fusionsrate, das heisst der Anzahl Fusionen pro Zeiteinheit, der verbleibenden Masse eines Sterns und des von ihm ausgestrahlten Lichtspektrums kann man berechnen, wie lange es zum Erreichen seines heutigen Zustandes gebraucht hat. Mit dieser Methode wurde das Alter der Sterne des Kugelsternhaufens ermittelt. Es beträgt 14 Milliarden Jahre. Eine weitere Schätzung kommt von Daten der Vermessung der Hintergrundstrahlung durch den Satelliten WMAP im Jahre 2003. Das Alter des Universums wird auf 13.7 Milliarden Jahre geschätzt. Alle Werte liegen somit zwischen 13–15 Milliarden Jahren, wobei der Wert der Vermessung der Hintergrundstrahlung als der genaueste gilt.

Der Aufbau der Materie (der Zoo der Elementarteilchen) und die Kräfte der Physik

Bevor wir auf die aktuelle Lehrmeinung bezüglich Ablauf des Urknalls eintreten, betrachten wir kurz die Zusammensetzung der Materie und ihre physikalischen Kräfte.

Alle Materie setzt sich aus Molekülen zusammen, die ihrerseits aus Atomen bestehen, auch chemische Elemente genannt (siehe Abb. 1). Die Atome sind aufgebaut aus Kernen, die negativ geladene Elektronen anziehen. Die Idee, dass Elektronen als Punkte sich in einer Kreisbahn um den Kern bewegen, wird heute von den Physikern als falsch beurteilt. Elektronen, welche vom Atomkern angezogen werden, befinden sich mit 90 % Wahrscheinlichkeit in Orbitalen (»Elektronenwolken«). Wo sie sich genau befinden, lässt sich nicht festlegen. Ein Wasserstoffatom hat einen Durchmesser von 10^{-8} cm, der Durchmesser seines Kerns ist fünf Zehnerpotenzen kleiner, nämlich 10^{-13} cm.

Ein Atom ist 99.99 % leerer Raum. Der Atomkern besteht aus den positiv geladenen Protonen und den ladungsneutralen Neutronen. Protonen und Neutronen werden auch als Baryonen oder Hadronen zusammengefasst. Sie sind ihrerseits aus noch kleineren Bausteinen, den Quarks, aufgebaut. Quarks können nicht in kleinere Einheiten zerteilt werden. Es gibt zwei Typen von Quarks: »up«-Quarks (u-Quarks) und »down«-Quarks (d-Quarks), die für uns wichtig sind. Ihre Ladung ist verschieden. So hat das u-Quark eine Ladung von plus $2/3$ und das d-Quark eine Ladung von minus $1/3$. Das Proton besteht aus 2 u-Quarks und einem d-Quark, hat

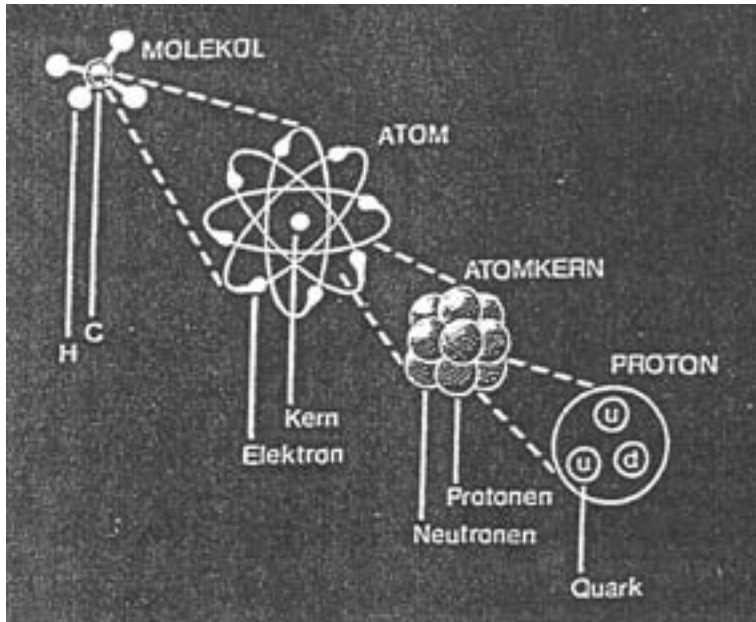


Abb. 1: Struktur der Materie

Moleküle bestehen aus Atomen. Insgesamt gibt es über 100 verschiedene Sorten (die chemischen Elemente). Atome bestehen aus einem Kern, um den sich Elektronen in Orbitalen (»Elektronenwolken«) bewegen. Ein Elektron ist mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit an einer bestimmten Stelle des Orbitals vorhanden. Der Kern setzt sich aus Protonen und Neutronen zusammen, die ihrerseits aus Quarks bestehen.

also die Ladung plus 1; das Neutron besteht aus 2 d-Quarks und einem u-Quark, hat also die Ladung 0.

Die Elementarteilchenphysik kennt 12 Materieteilchen oder Elementarteilchen, wobei die Materieteilchen 3 Familien zugeordnet sind. In jeder Familie hat es 2 Quarks und 2 Leptonen. Für uns genügt die Kenntnis der Familie mit u-Quark, d-Quark, sowie den Leptonen Elektron und Elektron-Neutrino. Diese 4 Elementarteilchen sind stabil, was für die anderen meist nicht zutrifft.

Das Neutron ist kein »inertes kleiner Stein«. Es ist dynamisch: Jederzeit können Mesonen jeglicher Art absorbiert und herausgeschleudert werden. Unter Mesonen versteht man im Gegensatz zu Elementarteilchen Kompositarteilchen, die aus geradzahigen Paaren von Quarks und Antiquarks zusammengesetzt sind.

Nebst der Materie gibt es auch die Antimaterie. Sie ist während der Ereignisse des Urknalls offenbar aus dem Universum verschwunden. Lediglich im Zentrum unserer Galaxie gibt es eine Positronenwolke. Ausserdem werden in starken Blitzgewittern Elektronen und Positronen gebildet. Antimaterie kann künstlich erzeugt werden. Die Antimaterie, deren Existenz vom englischen Physiker Paul Dirac Ende der 1920er-Jahre vorausgesagt wurde, ist das Gegenteil der Materie. Jedes Teilchen: Proton, Elektron, Quark, hat ein Antiteilchen. So besteht ein Antiwasserstoffatom aus einem negativ geladenen Antiproton und einem positiv geladenen Antielektron, Positron genannt. Das Positron hat die gleiche Masse, den gleichen Spin u.a. wie das Elektron, nur ist es positiv geladen. Wenn ein Teilchen auf ein Antiteilchen trifft,

so vernichten sie sich gegenseitig, unter Emission von Licht. Koexistenz von Materie und Antimaterie gibt es nicht. 2002 hat man im CERN in einem Experiment, dank Teilchenbeschleunigertechnologie, Antiwasserstoffatome produziert; insgesamt waren es einige Millionen Antiwasserstoffatome, was einem Milliardsten eines milliardsten Gramm entspricht. Wenn sich ein Gramm Materie mit einem Gramm Antimaterie vernichtet, wird so viel Energie freigesetzt wie bei einer Explosion von 40 Kilotonnen TNT (die Bombe von Hiroshima hatte eine Explosionskraft von 15 Kilotonnen TNT, was der Explosion von 15 000 Tonnen Trinitrotoluol entspricht). Es muss jedoch eine Milliarde mal mehr Energie gebraucht werden, um ein Gramm Antimaterie herzustellen, und es würde eine Milliarde Jahre dauern, um diese Menge anzureichern und erst noch 1 000 Billionen Euro kosten (CERN-Physiker Rolf Landua, der die Herstellung von Antimaterie leitete). Eine militärische Anwendung ist uninteressant und vielleicht auch eine Verwendung als Antrieb für Weltraumreisen.

Aus Energie (Lichtquanten oder Photonen) können Elementarteilchen kreiert werden. So gelang es der Gruppe von Kirk McDonald (1998) erstmals mit Hilfe des Elementarteilchenbeschleunigers in Stanford, aus Photonen ein Elektron und ein Positron herzustellen. Aus Energie wird immer ein Teilchenpaar hergestellt, also Elektron und Positron. Die Gesamtladung bleibt konstant. Der Einsatz äusserst energiereicher Laser war nötig, denn um ein einziges Elementarteilchenpaar zu gewinnen, ist sehr viel Energie erforderlich. McDonald schätzt, dass unsere Sonne, konzentriert auf

einen Punkt, weniger als 100 Gramm Materie von Teilchen-Antiteilchen-Paaren ergeben würde.

Nun zu den vier physikalischen Kräften (siehe Tab. 1). Zwei der Kräfte, die Schwerkraft und die elektromagnetische Kraft wirken auf grosse Distanzen. Die beiden andern Kräfte wirken auf extrem kleine Distanzen. Die weitaus schwächste Kraft ist die Schwerkraft. Sie ist aber von Bedeutung, wo grosse Massen aufeinander wirken. Der Mond spürt die Anziehung der Erde, die Galaxien ziehen sich gegenseitig an usw.

Die elektromagnetische Kraft ist viel stärker als die Gravitation, und zwar um einen Faktor 10^{36} . Elektrischer Strom treibt Computer, Fernseher usw., Licht und Wärme der Sonne treffen in Form von elektromagnetischer Strahlung bei uns ein. Zur elektromagnetischen Strahlung gehören auch die Mikrowellen, die vom Urknall übrig geblieben sind, Radiosignale ferner Galaxien und Gammastrahlen aus kosmischen Explosionen.

Chemische Reaktionen beruhen auf dem Austausch und der Übertragung von Elektronen. Alle biologischen Vorgänge hängen von chemischen Vorgängen und damit von der elektromagnetischen Kraft ab.

Die starke Kraft ist 10^{38} -mal stärker als die Gravitation. Sie hält Atomkerne zusammen, d.h. Protonen und Neutronen im Atomkern und Quarks in Protonen und Neutronen. Die explosive Freisetzung der Kernenergie ist Folge der starken Kraft (Atombombe). Sie ermöglicht auch die Umwandlung der Elemente, d.h. die Verarbeitung von Protonen (Wasserstoff), die aus dem Urknall übrig geblieben sind, zu schwe-

Kraft	Reichweite	Botenteilchen	Manifestation
Schwerkraft (Gravitation)	sehr grosse Reichweite	Gravitonen	Wirkt auf alle Teilchen mit Masse (hält Uni- versum zusammen).
Elektromag- netische Kraft	sehr grosse Reichweite	Photonen	Wirkt auf geladene Teilchen, (sichtbares Licht, Elektrizität, Magnetismus, Chemie).
Starke Kraft	sehr kurze Reichweite	Gluonen	Hält Atomkerne zusam- men (d.h. hält Protonen und Neutronen im Atomkern und Quarks in Protonen und Neu- tronen zusammen). Explosive Freisetzung der Kernenergie ist Folge der starken Kraft.
Schwache Kraft	sehr kurze Reichweite	W- und Z-Bosonen	Bewirkt radioaktiven Zerfall.

Tab. 1: Die 4 physikalischen Kräfte

Sie unterscheiden sich u.a. durch ihre Reichweite und ihre Botenteilchen. Schwerkraft und elektromagnetische Kraft haben eine sehr grosse Reichweite, starke und schwache Kraft hingegen eine sehr kleine. Die Kräfte werden durch Botenteilchen übertragen. Unter ihnen sind die Gravitonen der Schwerkraft noch hypothetisch.

ren Elementen, die heute kosmische Strukturen aufbauen. Die schwache Kraft ist 100 000-mal schwächer als die starke Kraft. Sie ist für bestimmte Arten von radioaktivem Zerfall verantwortlich, nämlich dort, wo Neutronen im Innern des Atomkerns in Protonen zerfallen und Elektronen in kleinen Stößen Beta-Strahlung emittieren. Sowohl im frühen Universum wie im Kern von Sternen finden solche Umwandlungen statt.

Etwas weniger leicht zu verstehen sind die »Botenteilchen«. Nach der modernen Vorstellung der Physik werden Kräfte durch eben diese Botenteilchen übertragen. Beispielweise übertragen Photonen die elektromagnetischen Wechselwirkungen und die Gravitonen die Schwerkraft. Sie werden von den Elementarteilchen ausgesandt und dann wieder eingefangen, wobei sie die Kraftwirkungen mit Lichtgeschwindigkeit übertragen. Beide besitzen keine Ruhemasse, sie sind also keine eigentlichen Teilchen.

Wenn das Universum nur Materieteilchen enthielte, so wäre es zwar auch gross, aber unveränderlich und monoton. Via die vier Kräfte verweben die Materieteilchen unter sich diverse Verbindungen, und die Materie zeigt offenbar »1000 Gesichter«.

Über die Frage, was Elementarteilchen sind oder warum es sie gibt, seien die Meinungen zweier Physiker angefügt: »Gegenwärtig noch rätselhaft ist, warum es Protonen, Elektronen und andere subatomare Teilchen überhaupt gibt und warum die physikalische Welt von bestimmten Kräften und Gesetzen geprägt ist.« (M. Rees) »Es mag zwar im Mekka der Teilchenphysik, im CERN, seltsam klingen, aber keiner

von uns Physikern weiss, was ein Elementarteilchen eigentlich ist. Natürlich kennen wir die Masse, die elektrische Ladung, den Spin und noch ein paar andere Zahlen. Aber was es ist, bleibt ein Rätsel.« (R. Landua)

Elementarteilchenbeschleuniger

Elementarteilchenphysiker, die die Materiebausteine erforschen, und Astrophysiker, die sich mit dem ungeheuer Grossen des Kosmos beschäftigen, sowie theoretische Physiker haben das Geschehen des Urknalls analysiert. Erkenntnisse kamen also einerseits aus Experimenten mit riesigen Teilchenbeschleunigern und andererseits aus Analysen, ausgeführt mit modernen Boden- oder Raumteleskopen oder Satelliten, sowie von mathematisch-physikalischen Studien. Die äusserst aufwendigen Teilchenbeschleuniger sind in der Regel kreisförmig und unterirdisch angelegt. So war das LEP (Large Electron Positron Collider) des Europäischen Forschungslaboratoriums CERN von Meyrin, in der Nähe von Genf, in einem Tunnel von 100 m Tiefe und 26.7 km Länge untergebracht. Es besass vier riesige Detektoren. Das LEP schickte mittels Magneten Elektronen auf die Umlaufbahn. Diese kollidierten mit Positronen (Antielektronen), die man in entgegengesetzter Richtung auf die Umlaufbahn beschleunigt hatte. Bei dieser Kollision wurden Teilchen freigesetzt, die Rückschlüsse auf die Natur der Materie ermöglichten.

Ein Teilchenbeschleuniger, der Hadronen (Protonen, Neu-

tronen und Bleikerne) mittels 1232 gigantischen Magneten, mit annähernd Lichtgeschwindigkeit und im Hochvakuum auf die Umlaufbahn schickt, der sogenannte Large Hadronen Collider (LHC), wurde Ende 1994 für das CERN bewilligt. Er wurde im einstigen LEP-Tunnel installiert (Detektor Atlas, siehe Abb. 2). Vor allem die Entwicklung von extrem leistungsfähigen, supraleitenden Magneten hat sehr viel Innovation erfordert. »Der LHC ist mit seinen Magneten, seinem Beschleunigungs-, Vakuum- und Kühlsystem das grösste und komplexeste wissenschaftliche Gerät, das je gebaut wurde.« (R. Landua) In den zwei sehr dünnen entgegengesetzten »Röhren«, in denen Protonen mit Magneten, Spulen aus Titan und Niob beschleunigt werden, herrschen Temperaturen von -271.3 °Celsius. In 1 Sekunde bereisen Protonen ihren Beschleuniger 245-mal. Jede Kollision setzt $7 \text{ TeV} = 7000$ Milliarden Elektronenvolt Energie frei. Vorgeesehen sind auch 14 TeV .

Magnus Enzensberger nannte das LHC die grösste unterirdische Kathedrale der Physik.

Gegenwärtig arbeiten 2500 Wissenschaftler aus 100 Nationen am LHC-Projekt 10 % davon sind Forscher. Ein Projekt von dieser Grössenordnung hat es noch nie gegeben. Für den Physiker Landua ist »Gruppenintelligenz« am Werk. Die Kosten dieses Projektes werden auf 6–10 Milliarden Schweizer Franken geschätzt. Insgesamt finanzieren 20 Mitgliedsstaaten das CERN. Den Grossteil finanziert Deutschland, nämlich ein Fünftel.

Im LHC werden sich pro Sekunde 600–800 Millionen Zusammenstösse von Hadronen ereignen. Jeder dieser Zusam-



Abb. 2: Large Hadron Collider (LHC) des CERN: Detektor »Atlas«

Der Elementarteilchenbeschleuniger des CERN in Meyrin bei Genf ist im einstigen Tunnel des LEP (Large Electron Positron Collider), 26,7 km lang und 100 m tief, installiert worden. Erste Experimente, bei denen Hadronen (Protonen und Neutronen) in entgegengesetzter Richtung auf fast Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden und miteinander kollidieren, fanden bereits statt.

menstöße wird Tausende von Sekundärteilchen generieren, die von riesigen Detektoren nachgewiesen werden. Dabei wird auch ein wenig Radioaktivität emittiert. Die Temperatur dürfte 10 000 Milliarden Grad Kelvin übertreffen und somit die Bedingungen einer Mikrosekunde nach dem Big Bang erreichen. Es wird so viel Strom benötigt, wie alle Genfer Haushalte verbrauchen.

Der gewaltige Datenstrom wird mittels 6000 CERN-Computern und einem Server und zusätzlich weltweit Tausenden PCs ausgewertet. Der Datenstrom von einem der beiden grössten Detektoren würde nur in einer Sekunde 100 000 CDs füllen, offenbar genügend, um nach sechs Monaten die Strecke zum Mond mit übereinander gelegten CDs zu belegen. Wie mit Spam-Filtern werden die allermeisten Informationen gar nicht registriert; nur für die »Erfolg versprechendsten« Daten ist dies der Fall. Daten von eins bis mehreren Hundert Ereignissen pro Sekunde kommen schliesslich ins zentrale Computersystem des CERN.

Es soll erstmals das Higgs-Boson experimentell nachgewiesen werden.* Der Nobelpreisträger in Physik, Leon Lederman, nannte dieses Boson das »Gottespartikel.« Die Masse als Eigenschaft der Materie ist für Physiker nach wie vor rätselhaft, denn im einfachsten theoretischen Modell sind alle Teilchen masselos. 1964 haben deshalb der schottische Physiker Peter Higgs und die belgischen Physiker Robert Brout und François Englert die Existenz eines bestimmten

* Gemäß Pressemitteilung des CERN vom 4.7.2012 wurde das Higgs-Boson nachgewiesen.

Teilchens vorgeschlagen, das später als Higgs-Boson bezeichnet werden sollte. Higgs ist heute emiritierter Professor in Edinburg.

Neben dem Nachweis des Higgs-Boson widmen sich die Forscher des CERN auch dem Problem der dunklen Materie und der dunklen Energie sowie der Supersymmetrie und der Frage, warum die Natur die Materie der Antimaterie vorgezogen hat. Bei der Supersymmetrie handelt es sich um eine hypothetische Symmetrie der Elementarteilchen. Stimmt diese Annahme, so würde sich die Zahl der 12 Elementarteilchen auf 24 verdoppeln: Jedes Teilchen fände einen Superpartner, wobei lediglich der Spin verschieden wäre; er würde um eine halbe Einheit verschieden sein. Auch die Frage, ob unser physikalischer Raum aus mehr als vier Dimensionen (drei räumliche und eine zeitliche) besteht, könnte eine Antwort erhalten. Wir werden auf all dies detailliert eingehen.

Im Fermilab Nähe Chicago wurden im, verglichen mit dem LHC, 7-fach schwächeren Teilchenbeschleuniger Tevatron im Frühjahr 2007 Hinweise für die Existenz des Higgs-Boson gefunden. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Abweichung auf eine zufällige Fluktuation zurückzuführen ist, war 2 %. Für Elementarteilchenphysiker ist diese Wahrscheinlichkeit offenbar noch zu gross. Im Spätherbst 2009 begannen die Forschungen im CERN mit dem LHC (Large Hadron Collider).

Der Bau neuer Colliders wird zurzeit diskutiert. 2012 wird frühestens eine Entscheidung getroffen bezüglich Bau eines Internationalen Linearcolliders (ILC). Geladene Teilchen,

welche kreisförmig bewegt werden, emittieren einen Teil ihrer Energie, die sogenannte Synchrotronstrahlung. Je höher die Energie ist beim Zusammenprall der Teilchen, desto grösser die Wahrscheinlichkeit, unter den zigtausend Bruchstücken etwas Neues zu entdecken. Deshalb werden Elektronen und Positronen oder Hadronen neu auf einer geraden Strecke beschleunigt.

In San Francisco ist mit dem Stanford Linear Accelerator ein Teilchenbeschleuniger mit einer Länge von 3 km in Betrieb. Mit dem Internationalen Linearcollider, als Standorte werden CERN, Fermilab oder Japan diskutiert, will man mit vorerst 31, später 60 km Länge höhere Energien erzielen. Kosten: 6.7 Milliarden Dollar. Es würden zwei je 11.3 km lange ILCs gebaut, der eine, um Elektronen, der andere, um Positronen zu beschleunigen.

Sollten mit dem aktuellen kreisförmigen Large Hadron Collider im CERN (mehrere 1000 Gigaelektronenvolt) keine neuen physikalischen Phänomene entdeckt werden, so würde man den Internationalen Linearcollider mit »nur« 1000 Gigaelektronenvolt nicht bauen. Vielleicht käme dann ein dritter alternativer Collider zum Zuge, der Compact Linear Collider (Clic). An ihm wird zurzeit am CERN gearbeitet. Er beruht auf neuartigen nicht supraleitenden Elementen, mit dem vielleicht noch höhere Energien erzielt werden können.

Register

- 2-Aminooxazol, Nukleotidsynthese, 230
4-Simplex, 81
Abrüstungskonferenz, Traktanden, 690
Acetylierung, Histone, 220
Ackerbau, Domestizierung, Monokulturen, 474
Ackerbau, etablierter, 473
Adams, Fred, 83, 149, 208, 773
ADHS (Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitätsstörung), 736 f
ADHS, Zappelphilipp, 738
Affektionen, 543
Aggression, 627, 629, 630,
Aggression, Bauer Joachim, 5 Varianten, 631
Aggression, Hearold-Bericht, 630
Aggression, Mensch, 628
Aggression, Primaten, 627
Aggression, Sexualdelikt, 630
Aggression, Verhaltenstherapie, 630
Agnostiker, 667
Agrarland, Erschöpfung, 381
Aggressivität, 582
Aguti-Gen, Maus, 291
AIEA (Agence International de l'Énergie nucléaire), 684
AIEA, Bericht, Nuklearhandel, 684
Connes, Alain, 80
Albani, El, 343
Einstein, Albert, Gehirn, 535
Aldrin, Edwin, 160
Alexeev, V.P., 445
Alexie, reine, 596
Alfen, Hannes, 95
Alge Vaucheria, 252
Algenkolonien, 335
Alien species, EU-Raum, 405
Alien-Leben, 209
Al-Khalili, Jim, 76, 211
Turing, Allan, 700
Allel, 279
Allel, Population, 283
Allelomimetismus, Mensch, 648
Allison, Anthony, 298
ALMA (Atacama Large Millimeter, Array)-Radioteleskop, 117
Alpaka, Wolltier, 491
Alte Welt, Ost-West-Achse, 508
Alternativ-Universum, 85
Altersforschung, 750, 766
Alterung, Akkumulation molekularer Schäden, 752
Alterung, Bakterien, 758
Alterung, Hormonaktivitäten, 766
Alterung, interdisziplinäre Forschung, 765
Alterung, Programm-Theorie, 752
Alterung, Verschleisstheorie, freie Radikale, 752
Alterungsprozess, 2 Theorien, 752
Alterungsprozess, Verzögerung bis 2050, 720 f
Alterungsprozesse, Epigenetik, 767
Altes Testament, 606
Altmann, Sidney, 236
Altruismus, nichtreziproker, 329, 651
Altruismus, nicht-reziproker, Amöbe Dictyostelium, 651 f
Altruismus, reziproker, 328, 649
Altruismus, reziproker, Alarmgebung, 649
Altruismus, reziproker, Grooming, 649
Altruismus, reziproker, Mensch, 650
Altruismus, reziproker, soziale Gruppen, Vorfahren, 650
Altruismus, reziproker, Vampire, 649
Alvarez, Louis, Kreidezeitextinktion, 362 f
Alzheimer-Gene, 282
Alzheimerkrankheit, 278, 766
Amazonas-Staat Para, 385 f
Ambrosia artemisiifolia, Allergien, 401
Ameisen, Jean Claude, 289, 765, 677
Aminosäurensubstitution, 273 f
Ammoniak (NH₃), 143
Amöbe, Vermehrung, 341
Amphibia, 349
Amphibien, Ark, 372 f
Amphibien, Doppelleben, 352
Amphibien, stärkste bedrohte Tierklasse, 372 f

Amphibienextinktion, Ursachen, 372
 Andromedagalaxie, 51, 104, , 113, 114
 Angiospermen, 347 f
 Angst, angeborene, Amygdala, 545
 Angst, erworbene, 545
 Aniridia-Gen, Mensch, 305
 Annihilation, 44, 157
 Antares, Observatorium, 57
 Antarktis, Bakterien, 240
 Antennapedia-Cluster, 304
 Anthrax-Bazillus, DNA-Sequenz, 694
 Anthraxsporen, Attacke, 655
 Anthraxsymptome, 698
 Anthropisches Prinzip, 76
 Antibiotika, Multiresistenz, 258
 Antibiotika, Resistenz, 258
 Antimaterie, 32
 Antimaterie, Detektor, 170
 Antioxidantien, Polyphenole, 754
 Antiproton, 32
 Antiraketensystem, USA, 685 f
 Antiwasserstoffatome, 33
 Antoni, Véronique, Bodenerosion, 484
 Apokalypse, Fast-, Kubakrise, 681
 Apolipoprotein E-Gen, Langlebigkeit, 761
 Apollo, Mission, 159
 Apoptose, Zellsuizid, 757
 Aquakulturen, 396 f
 Arabidopsis-Gene, 276
 Arbeit, Menschenrecht, 777
 Archaeopteryx, 273, 354
 Archea, 337
 Architekturgene, 275, 302 ff
 Ardipithecus, ramidus, »Ardi«, 438
 Arecibo, Puerto Rico, 119
 Ariane-Raketen, 193
 Armstrong Neil, 216
 Arp, Halton, 93
 Arrhenius, Svante, 243
 Arsen-Basis, Bakterien, 241.
 Art, Überlebenszeit, 363
 Artbegriff und Naturvölker, 317
 Artbegriff, Edward O. Wilson, 315
 Artbegriff, Ernst Mayr, 315
 Artbildung, horizontale Evolution, 312
 Arten, neu entdeckte, Beschreibung, 419
 Artenreichtum, potenzielle Quelle, 371
 Artenstehung, 315, 318 f
 Asara John, 355
 Ashtekar, Abhay, 79
 Asiatischer Marienkäfer, 401
 Aspergersyndrom, 566 f
 Asteroidenbombardierung, 223
 Asteroidengürtel, 129
 Asthma, 278
 Astrocyten, 358, 534 f, 702
 Astronomische Einheiten, 145
 A-T-Basenpaare, 213
 Atheisten. 667
 Atlantis, 170
 Atmosphäre, CO₂, 222
 Atmosphäre, reduzierende, 222
 Atmosphäre, sauerstoffreiche, 222
 Atmungskettenphosphorylierung, 333
 Atome, Erschaffung, 47
 Atome, Ionisierung, 100
 Atomkern, 30
 Atommächte, Sprengköpfe, 683
 ATP (Adenosintriphosphat), 233
 ATP-Synthese, 333
 ATV (Automated Transfer Vehicle), 172
 Aufrechter Gang, Homo ergaster, 518
 Augenbildung, 305
 Auger, Pierre, 110
 Auger-Detektions-System, 110
 Australopithecinen, 439 ff
 Australopithecus sediba, 442
 Homo rudolfensis, 445
 Autisten, 566
 AVFW (Areal der visuellen Form der
 Worte), 596 f
 AVFW, Neuronen, 597
 Axon, 534
 Babys, Neigung zum Guten, 674
 Bacteria, 337
 Bada, Jeffrey, 229
 Bahlburg, Heinrich, 136
 Bahnsen, Ulrich, 284
 Baker, David, 743
 Bakterien, archaische, 238
 Bakterien, Extremophile, 254 ff
 Bakterien, Hyperthermophile, 255
 Bakterien, Intestinalflora, 257
 Bakterien, Kommunikation, 258, 260
 Bakterien, Pestepidemien, 258

Bakterien, Signalmoleküle, 261
 Bakterien, Symbionten, 258
 Bakterien, Zellregulation, 253 f
 Bakterium *Mycoplasma genitalum*,
 DNA-Synthese, 693
 Baltimore, David, 712
 Bamberg, Ernst, 530
 Barcelo, Carlos, 107
 Bartgeier, Wiederansiedlung, 413
 Bartonellen-Infektion, 500
 Baryonen, 30
 Basikran, 600
 Bauer Joachim, Killerspiele, 631
 Bauer Joachim, Kooperation,
 Kommunikation, 328
 Bauer Joachim, punctuated equilibrium, 329
 Bauer, Joachim, Evolutionsschübe, 329 f
 Bauern, USA, Subventionen, 419
 Bauernhoftiere, materielle Objekte, 504
 Bauernmethode, einstige, 502
 Baumstümpfe, fossile, 346
 Bear Mark, 540
 Beaulieu, Jean-Philippe, 141
 Beddoe, Travis, 373
 Bedektsamer, 347 f
 Beduinen der Wüste, 299
 Begegnungen des dritten Typs, 206
 Benzer Seymour, 751
 Berberousse, Anouk, Kooperation im
 Tierreich, 328
 Berberousse, Anouk, Kooperation,
 Evolution, 645
 Berggorillas, 427
 Bergwiesen, Biodiversität, 398
 Berthold, Peter, Ziehen-Gene, Vögel, 409
 Beuteltiere, 357
 Bewusstsein Christof Koch, 557
 Bewusstsein, Baruch Spinoza, 556
 Bewusstsein, Bernhard Baas, 556
 Bewusstsein, Francis Crick, 556
 Bewusstsein, Gerald Edelman, 558
 Bewusstsein, John Eccles, 556
 Bewusstsein, Kernbewusstsein, 559
 Bewusstsein, kollektives, Fred Adams, 773
 Bewusstsein, limbisches System, 559
 Bewusstsein, René Descartes, 556
 Bewusstsein, Roger Penrose, 560, 702
 Bewusstsein, Spiegeltest, 555
 Bewusstsein, Stuart Hameroff, 560
 Bewusstsein, Susan Greenfield, 557 f
 Bewusstsein, thalamokortikales System, 559
 Bewusstseins-Test, Computer, 555
 Bienen, Aufzucht, 495
 Bienensterben, 496 f
 Big Bounce, 61, 95, 157
 Big Chill, 157
 Big Crunch, 61, 95, 157
 Big Rip, 157 f
 Bilaterale Symmetrie, Lebewesen, 344
 Bildgebende Methoden, nicht-invasive, 527
 Bininda-Edmonds, Olaf, 357
 Binnengewässer, am stärksten gefährdete,
 399
 Binnig, Gerd, 705
 Biochemie, 272
 Biodiversität, Landwirtschaft, 397
 Biodiversität, Nutzpflanzen, Nutztiere, 378
 Biodiversität, Zukunft, 417
 Biodiversitätsverlust, exotische Tiere, 381
 Biodiversitätsverlust, Ursachen, 381
 Biofilme, Matrix, 260
 Biogeografie, 272 f
 Biologische Homogenisierung, 375
 Biologische Prozesse und Energie, 335
 Biologischer Reichtum, 376
 Biomechanik, Drosophila-Imaginalscheiben,
 311
 Biomechanik, Wirbeltierskelett, 311
 Biophilie, 371, 582, 627
 Biophobie, 627
 Biopiraterie, Verbot der, 415
 Bioplastiken, neue Organismen, 748
 Bioprospecting, 387
 Biosedimente, 262
 Biosphären, unterirdisches Wasser, 208
 Biotechnologie, Ethik, 711
 Bioterror, 692
 Biounfälle, 697 f
 Biowaffen, mögliche Pathogene, 695
 Birbaumer, Niels, 729
 Birkenspanner, Mutation *Carbonaria*, 297
 Bithorax-Cluster, 304
 Bjornsson, Hans, 767
 Blackburn, Elisabeth, 756
 Blackmore, Susan, Bedeutung Imitation, 553
 Blanché, Hélène, 764

- Blue Gene II, Simulation Neuronen, 533
 Blumberg, Mark S., Basic Instinct, 551
 Blümer, Johannes, 111
 Bluthochdruck, 278
 Bochum, Computersimulationen, präbiotische Chemie, 246
 Böden, afrikanische, 486
 Boden, Chemie, 482
 Boden, Mikroorganismen, 480 f
 Boden, Phosphor, 483
 Boden, Regeneration, 482
 Bodenerosion, Folgen, 484
 Bohr, Niels, Quantentheorie, 77
 Bojowald, Martin, 61
 Bonobos, Sexualität, Versöhnungsritual, 628
 Botenteilchen, 36
 Boyer, Pascal, 660, 664
 Brack André, 222, 244
 Bradley, Alexander S., 239
 Brand, Reinhard, Philosoph, 505
 Brandrodung, illegale, 384, 386
 Brandrodung, Kongo, 388
 Brandt, Angelika, Reise mit »Polarstern«, 396
 Braten, Konsequenzen, Homo erectus, 449
 Braune Zwerg, 123, 139, 151
 Breitreuz, Christoph, 137
 Brenner Sydney, 534
 Bresch, Carsten, 370, 770
 Brieftaube, 495
 Brin, David, Neumann-Maschinen, 206
 Britt, May, Raumkoordinatensystem, 309 f
 Broca-Areal, 600
 Brocks, Jochen J., Stromatolithen, 263
 Broderick, Daniel, Zukunftsperspektiven, 730
 Brookhafen National Laboratory, Bericht
 Brosnan, Sarah, 652
 Brout, Robert, 40
 Brown, Stephen, 607
 Brumm, Henrik, Nachtigallen-Gesang, 604
 Brundage, John F., 265
 Brunet, Michel, 435
 Brutplätze, Zugvögel, Klimaerwärmung, 408
 Buchert, Thomas, 52
 Buchheim, Anna, Doppelblindverfahren, 529
 Buchstabenschrift, 605
 Budisa, Nediljko, fluorhaltige Aminosäuren, 747
 Bundeswehr, Spionagesysteme, Satelliten, 687
 Burbidge, Geoffrey, 92
 Burgess, Cliff, 61
 Burgess-Shale-Fossilien, 323
 Burling, Robbins, 600
 B-Waffen, 697 f
 Bygren, Lars Olov, 291
 C-14-Methode, 434
 Caenorhabditis elegans, Altersgene, 751
 Caenorhabditis elegans, Lebensverlängerung, 287
 Callisto, Jupitermond, 184
 Calment, Jeanne, 122 Jahre, 764
 Calvin, William H., 86
 Cann, Rebecca R., 461
 Canup, Robin, 188
 Cap Canaveral, Florida, 169
 Cape Kennedy, 160
 Carroll, Sean B., 272, 306
 Carter, Jimmy, 163
 Cassini-Huygens-Mission, 182
 Cech, Thomas R., 236
 Census of Marine Life, Projekt, 396
 Cephalisation, 344
 Cerebellum, 520
 CERN, 40
 C-G-Basenpaare, 213 f
 Challenger, 1986, 170
 Changeux, Jean-Pierre, 287, 598, 678 f
 Chapuis, Jean-Louis, Elimination exotischer Lebewesen, 405
 Charakter, chemische Netzwerke, 564 f
 Charakter, Dopamineffekte, 564 f
 Chauvet, Grotte, 617f
 Chemiewaffen, Entsorgung alter Bestände, 699
 Chicxulub-Krater, 363
 China, Weltraummacht, 194
 China, Wortsprache, Literatur, 602
 Chips, Miniaturisierung, 208, 708
 Chita, ältester Schimpanse, 422
 Chlorophyll, 167, 229, 251
 Chloro-Uracil, 748
 Chloroplasten, 251, 335
 Chomsky, Noam, Sprache=Beiprodukt, 594
 Chondriten, 173

- ChR2-Protein, 531
 Chromatin, Struktur, 219
 Chromosomenmutationen, 275
 Chromosomensatz, vervielfacht, 281
 Chronos-Projekt, Langlebigkeit, 764
 Church, George, Personal Genom Project, 733
 Churchland, Patricia S., Geistesmodule = Unsinn, 528
 Chytridiomycose, 373
 Ciclosporin, Abstoßung Gewebe, 727
 Claremont, Martinez, 758
 Clark, Helen, Mädchen und Fauenförderung, 510 f
 Clark, Helen, UNO-Programm für Entwicklung, 510
 Clark, Roland J., 441
 Clementine-Mondmission, 190
 Clifton, Timothy, 53
 CNV's (Copy Number Variants), 284
 CNV-Profil, menschliches, 284
 COBE, (Cosmic Background Explorer)-Satellit, 27, 55, 87
 Cocconi, Giuseppe, 204,
 Cockayne-Syndrom, Kurzlebigkeit, 763
 Cognitive enhancer, Expertenmeinung, 741
 Colemann, Sidney, 70
 Collins, Michael, 160
 Columbus, Weltraumlabor, 170
 Computer, Miniaturisierung, 705
 Computer, Processing Power, 702
 Computer, zentral gesteuert, 702
 Computerbewusstsein, 560
 Computerspiele, gewalttätige, 631
 Conard, Nicolas, 615 f
 Condon Edward, UFOs, 206
 Connectom, Caenorhabditis, 534
 Conodonten, primitives Neuralrohr, 346
 Conservation International, Regenwaldkauf, 386
 Constellation, USA-Weltraumprogramm, 193
 Coppens, Yves, 439
 Cortex, Neocortex, 520
 Cortexoberfläche, Intelligenz, 524
 Cortisol, 768
 Cosquer, Höhle, 617
 Courchamp, Franck, 406
 Crick, Francis, RNA-Welt, 235, 243
 Cro-Magnon, 284, 452, 660
 Cro-Magnon, Höhlenmalerei, 620
 Cuzin, François, Epigenetik bei Mäusen, 292
 Cyanobakterien, 239, 244
 Cybereinheit, Bundeswehr, 687
 Cytochrom C, 273
 D'Aquili, Eugene, 661
 Damasio, Antonio R., 546
 Damasio, Antonio R., Ethik als Nebeneffekt, 675
 Darwin, Charles, 234, 271, 289, 327
 Darwin, Satellit, 143, 167
 Darwinius, masillae, 437
 Dauphas, Nicolas, 175
 Davidson, Eric, 313
 Davies, Paul, 65, 66, 82
 Dawkins, Richard, 323, 327
 Dawkins, Richard, Spieltheorie, Expertise, 641
 De Duve, Christian, 209, 233f, 240, 249, 312, 368, 744 f
 De Duve, Christian, Superorganisation, 772
 De Léon, Marcia Ponce, 467
 De Lumley, Marie-Antoinette,
 De Montaigne, Michel, 656
 De Rosnay, Joel, Cyobionte, 773
 De Sitter, Willem, 26
 De Waal, Frans, 589, 652 f, 670
 De Waal, Frans, Schimpansen, 432, 548
 De Waal, Frans, soziale Bindung in Natur, 328
 De Weck, Roger, 656
 De Ziegler, Dominique, 766
 Decety, Jean, 623
 Deep Blue, IBM-Schachcomputer, 702
 Deep Fritz, Supercomputer, 702
 Dehaene, Stanislas, neuronale Rekonversion, 555–538
 Dehaene, Stanislas, Sinn für kleine Mengen, 549
 Deinococcus radiodurans, 254 f
 Deisten, 667
 Deletionen, 284
 Demografie, 587
 Dengue-Fieber, Klimaerwärmung, 410
 Denkende Wesen, 209, 546, 548
 Denkprozesse, individuelle Variabilität, 551

Deuteromalaien, Madagaskar, 364
 Dextre, kanadischer Roboter, 172
 DHEA (Dehydroepiandrosteron), 755
 Diabetes, 278
 Dialekte Schweiz, Fehlprognosen, 603
 Diamond, Jared, 488, 493, 508
 Dian-Fossey-Gorilla-Stiftung, 427
 Dicke, Ursula, 526
 Dinosaurier, 353 f
 Dinosaurier, Aussterben, 321
 Diversitätsmonitoring Schweiz, 398
 DNA (Desoxyribonukleinsäure), 213 f, 236, 275
 DNA, Kontrollfunktionen, 275
 DNA, Mammut, Teilsequenzierung, 322
 DNA-Code, 6 Buchstaben, 747
 DNA-Fragmente, fossiles Gewebe, 321
 DNA-Reparatur-System, Aging, 755
 DNA-Replikation, Methylierungsmuster, 291
 Dobzhansky, Theodosius, 271
 Dolan, Raymond, 545,
 Domasio, A.R., religiöses System, Emotionen, 663
 Domestizierung, Parasitenbefall, 499
 Domestizierung, Pflanzen, 475 ff
 Dominanzsystem, Bedrohungsverhalten, 627 f
 Dominanzsystem, Ritualisierung, 627
 Dominanzsystem, Tiere, 627, 493
 Donoghue, John, Chip in Cortex, 728
 Dopamin, Effekte 739
 Doppelatmer, 349
 Dopplereffekt, 25
 Down-Quark, 30
 Dpp (Decapentalegic), Drosophila, 311
 Drake, Frank, 204
 Drexler, Eric, 705
 Drohnen, 689
 Drosophila, Methusalem-Gen, 751 f
 Drosophila, 276, 309, 318
 Dubois, Eugène, 448
 Duboule, Denis, Architekturgene, 304
 Duboule, Denis, Fuss-Flossen-Gen, 304
 Duboule, Denis, Handbildung, 304
 Duchenne-Muskeldystrophie, 278
 Dunbar, Robin, Grooming, 602
 Dünger, 483
 Dunkle Energie, 41, 45, 49, 119
 Dunkle Materie, 41, 45, 49, 119
 Duplikationen, 284
 Dyer, John, 648
 Eberhardt, Peter, 161
 Ebola-Krankheit, 695
 Echinodermen, 344
 Edelman, Gerald, 287
 Ediacara-Fauna, 343
 Eigen, Manfred, Alter Erbgut, 262
 Eigen, Manfred. Leben als unvermeidbarer Prozess, 369 f
 Eisen, 134
 Eisenkerne, 100
 Eisenmadeln, 89
 Eisner, Manuel, 584
 Ekman, Paul, 543
 Elastin, 768
 Eldrige, Niles, 326
 Elefanten, 382, 493, 625
 Elektrische Impulse, 540
 Elektroenzephalogramm (EEG), 527
 Elektromagnetische Kraft, 34, 85
 Elektronik, Verlässlichkeit, 708
 Elektron-Neutrinos, 57
 Elektrophorese, 317
 Elektrostatische Repulsion, 74
 Elementarteilchenbeschleuniger, 37
 Elementarteilchenpaar, 33
 Elemente des Lebens, 221
 Elfenbeinhandel, 383
 Emotionen, 543 f, 546, 546
 Empathie, 653, 655
 Empathie, Spektrum emotionaler Bindungsmuster, 653
 Empathie, Spiegelneuronen, 654
 Enceladus, Atmosphäre, 184
 Enceladus, Saturnmond, Geysire, 184
 Endeavour, 170
 Endhim, 520
 Endorina, Flagellaten, 339
 Endosymbiontenhypothese, Lynn Margulis, 336
 Energiequellen, radioaktive, 245
 Englert, François, 40
 Entosis, 757
 Entwicklung des WWF (World Wildlife Fund), 416

Entwicklungsgeschichte, 272
 Enzyklopädie des Lebens, Edward O. Wilson 419
 Enzyme, neuartige Katalysatoren, 748
 Epigenetik, 278 f, 287, 291 f
 Epigenetische Modifizierung, Chromatin, 289
 Epigenetische Modifizierung, DNA, 289
 E-Rare, EU-Länder, 735
 Erbkrankheiten, monogene, 723
 Erbkrankheiten, polygene, 723
 Erdatmosphäre, 223
 Erdbahn, 147
 Erde, Asteroideinschläge, 145 f
 Erdkruste, 135
 Erdmännchen, Aufzucht, 659
 Erdschichten, 134
 Erd-Trojaner TK7, 133
 Erfindungen, 715 ff
 Ernährung, Monokulturen, 499
 Erste Eukaryonten, 333
 ESA (Europäische Weltraumorganisation), 120
 Eschenmoser, Albert, 237
 Esel, 506
 Eternelle Inflation, 70
 Ethik bei Tieren, Damasio, 676
 Ethik, 670–677
 Eukaryonten, 337
 Eukaryontenzelle, Organellen, 333 f
 Eurasier, historisches Glück, 508
 Europa, Jupitermond, 184
 Evaporation, 234
 Evo-Devo (Evolutionary Developmental Biology), 302
 Evolution, horizontale, Darwinfinken, 312
 Evolution, Zickzack-Kurs, Carroll, 307
 Evolutionstheorie, Kritik an, 323
 Ewiger Tod, 157
 Exon, 277
 Exoplaneten, 138 ff
 Exotische Lebewesen, Inventar, 404
 Exotische Tiere, Artensterben, 365
 Extinktion, Kreidezeit, 362
 Extinktion, marine Tiere, 359
 Extinktion, Perm, Meteoriteneinschlag, 359, 362
 Extinktionsrate, Arten, 375
 Eyles-Gen, Drosophila, 305
 Falconer, D.S., 659
 Falk Dean, 469
 Falknerei, Araber, 494
 Famaey, Benoît, 58
 Familienklan, sensorielle Stimuli, 288
 Federn, erste, China, 355
 Fehr, Ernst, 652 f
 Fekundität, 2.1 Kinder pro Frau, 585
 Felchen, Schrumpfungsprozess, 375
 Ferreiro, Pedro G., 53
 Feuer, Entdeckung, 448
 Feynman, Richard, 705
 Fichten, 347
 Fischstäbchen, Siegeszug, 715
 Fisher, Ronald Alymer, 271
 Fitness, 296 f
 Flachlandgorillas, 426
 Flachsbar, Friederike, 760 f
 Flagellaten, 339
 Fleischlieferanten, 502
 Fleming, Alexander, 258
 Flexibilität und Intelligenz, 553
 Flöte, Geierknochen, Hohle Fels, 614
 Fluchtgeschwindigkeit Galaxie, 25, 87
 fMRI (Functional Magnetic Resonance Imaging), 528
 Fogassi, L. 553
 Forschung, selektive Geheimhaltung von Resultaten, 713
 Forschung, totale Transparenz, 713
 Forterre, Patrick, azelluläre Mikroorganismen, 337
 Fortey, Richard, kambrische Revolution, 326
 Fossey, Dian, 427
 Fossilien, 273
 Fotosynthese, 145, 250, 262
 Fox, Sidney W. 231 f
 Frau/Mann-Inegalitäten, 509
 Frauen, Lebensdauer, 763
 Freie Radikale, 752 f
 Freier Wille, 561 f
 Freier Wille, John-Dylan Haynes, 561
 Fremdenfeindlichkeit, 582
 Freud, Sigmund, Aggressionstrieb, 629
 Freud, Sigmund, Gehirn, seelischer Apparat, 536
 Friedmann, Alexander, 26
 Fruchtbare Halbmond, 473, 479

- Fussballer, Jung-, Afrika, 609
Fussgewölbe, Mensch, 517
- Galapagosinseln, UNESCO-Welterbe, 365
Galaxien, 49, 90, 111
Galaxien, Fusion, 112, 115
Galaxien, Kollision, 154
Galaxienhaufen, 49, 113
Galaxienhaufen, Abell 520, 57
Galileo, Sonde, 166
Gallesi, V., 553
Gallup, Gordon, 554
Gammastrahlenausbrüche, 101
Gamow, George, 27
Gänse, Zwangsstopfen, 503
Ganymed, Jupitermond, 184
Gardner, Beatrix u. Allen, Schimpansen,
Taubstummensprache, 513
Garriet Owen, 203
Garriot, Richard, 103
Gasriesen, Bildung, 130
Gaswolken, 111
Gazzaniga, Michael, 676
Gebärdensprache gehörloser Kinder, 589
Gedächtnis, 536
Gedächtnis, Kurzzeit-,Arbeits-, 537
Gedächtnis, Langzeit-, 537
Gedächtnisverlust, Clive Wearing, 538 f
Gedächtnisverlust, Henry Gustav Molaison,
538
Gedankenlesen, Wolf Singer, 550
Gefrieren, Konzentrationsmechanismus, 234
Gehirn, 100 Milliarden Neuronen, 521
Gehirn, 560
Gehirn, Architektur, 536
Gehirn, Astrozyten, 521
Gehirn, Entwicklungsgeschichte, 520
Gehirn, menschliches, Computer, 701
Gehirn, Plastizität, 522 f
Gehirn, Synapsen, 521
Gehirn, weisse Materie, 533
Gehirn, Zentren in Caenorhabditis, 532
Gehirnforschung, Gehirnschäden, 527
Gehör, Cochlea, 610
Gehör, Nervenfeuer, 611
Gehring, Walter, 303
Gehirnregionen, Geisteszustände, 528
Geiss, Johannes, 161
- Geistig-Kulturelle Sonderstellung, Mensch,
513
Geklontes Schaf Dolly, 726
Gemmulae, 272
Gemütszustand, Genetik und Umwelt, 654
Gen FOXO3A, Hundertjährige, 760 f
Gen-Chips, 285
Gendrift, 301
Genduplikationen, 279 f
Gene und Umwelt, 314
Gene, Anzahl, 275 f
Gene, fossile, 275, 280
Gene, Pseudo-, 275
Gene, springende, 281
Gene, Viren-, 275
Genetischer Werkzeugkasten, 307
Genexpression, 278, 285
Genfamilien, 280
Gen-Netzwerke, Epigenetik, 286
Genom, menschliches, Sequenzierung, 275
Genom, menschliches, Virenteil, 282, 302
Genomfusionen, Angiospermen, 302
Genomische Prägung, 279
Genozid, Schimpanse, 430 f
Genpool, Anpassung an Umwelt, 376
Gentherapie, somatische, 721
Gentherapie, somatische, Alain Fischer, 722
Gen-Transfer, 275
Gentransfer, künstlicher, 282
Gentransfer, natürlicher, 302
Genzel, Reinhard, 104
Geochemische Prozesse, 238
Geoffrey, Marcy, 147
Geoid, 135
Geometrie, Partikelphysik, 80
Gerechtigkeitssinn, Vorteile, 652
Gerstein, Mark, 280
Gesamtintelligenz, Landua, 772
Gesang, 615
Gesang, universeller, 610
Geschichtenerzählung, sozialer
Zusammenhalt, 605
Gesellschaften, Versprechen halten,
Vorteile, 653
Gestensprache, Meereskatzen, 624
Gestik, Cornelia Müller, 588
Gewebe, Zerstörung, 321
Ghadiri, Reza M., 237

- Giftgasterror, Japan, 1990
 Gilbert, Walter, 249
 Gilgamesch-Epos, babylonisches, 606
 Gimelbrant, Alexander, 278
 Glauben, Parallel-, 666
 Glies 581c, 118
 Glikson, Andrew Y., 136
 Gluconeogenese, 199
 Glucosaminoglycans, 768
 Glukose, Synthese, 251
 Göbekli Tepe, Tempelbau, 474
 Goldmine Südafrika, Desulfuridus, 248
 Golgiapparat, 335
 Goma, Gorilla 425
 Gondwana, Superkontinent, 137
 Goodall, Jane, 544, 547, 502, 513
 Gorilla, 425–428
 Gott, Führer durchs Leben, 665
 Gould, Stephen Jay, Bakterienpower, 254, 323, 325, 366 f
 Grauhörnchen, verdrängt rotes Eichhörnchen, 402
 Gravitation, 34
 Gravitation, künstliche, 171
 Gravitationelle Linse, 141
 Gravitationswellen, 28, 67, 96, 120
 Gray Goo, 706
 Great Barrier Reef, Australien, 391
 Great Leap Forward, 464
 Green, Joshua, richtig und falsch, Neuronenfeuer, 672
 Greenfield, Susan, 701
 Greenspan, Ralph I., 308, 541
 Grefe Christiane, 382, 418
 Gregarismus, 645
 Greider, Carol, 756
 Grenzen Mensch/Menschenaffen, 513
 Grooming, 602
 Grosshirncortex, 358
 Grosshirnrinde, 520
 Grünalgen, Channelrhodopsin, 530
 Gründerprinzip, 301
 Grüne Arche Noah, 378
 Gruppendoktrin, 582, 627
 Gruppenselektion, 657 f
 Güntürkün, Onur, Nidopallium caudolaterale, 525
 Gunzig, Edgar, 64
 Gutenberg, Buchdruckerkunst, 605
 Guth, Allan, 43
 Gutierrez, Christina, 450
 Gymnospermen, 347
 Häckel, Ernst, 323
 Hadronen, 30
 Hadronische Materie, Beginn, 45
 Haldane, J.B.S., 222, 224
 Halos, 58, 111
 Hämatit, 224, 251
 Hamer, Dean, Veranlagung zum Glauben, 661
 Hamilton, William, 658
 Hamlin, Kiley, 674
 Hämoglobin, 229
 Hämoglobin-Gene, 280
 Hämophilie, 278
 Hand, Werkzeuggebrauch, 518
 Hanse, Neuropsychanalyse, 529
 Häring-Bänke, 647
 Harman, Denham, Alterung, freie Radikale, 752
 Harps-Spektrograf, 140
 Hartle, J., 67
 Hauber, Ernst, 178
 Hauser Martha, 393
 Hauser, Marc D., 563, 594
 Haustiere, Kompagnons, 505
 Hautalterung, 767
 Hautier, Yann, 398
 Hautpräparation, 724
 Havlicek, Elena, BUWAL, Bodenfund, 482
 Hawking, Stephen, 67, 81
 Hawks, John, 314
 Hayabusa, 173
 Hayflick, Leonard, Zellteilungsfähigkeit, 755
 Haynes, John Dylan, Gedankenlesen, 550
 Hegemann, Peter, 530
 Heisenberg, Werner, 77
 Helbling, Jürg, 584
 Helimä, Harri, Vitamin C-Effekt, 753 f
 Heliogaine, Grenzregion, 166
 Heliosphäre, 166
 Helium-3-Isotop, 193
 Heliumatome, 88
 Hengstschläger, Markus, 769
 Herausforderungen, planetare, Klaus Schwab, 778

Herdenbildung, Beispiele, 645
 Heritabilität, 659
 Herren, Hans Rudolf, Welternährungspreis
 1995, 485
 Herschel, Weltraumteleskop, 115, 118, 124
 Hertweck, Christian, Antibiotikum, 261
 Heterochromatin, 220
 Hibernation, Mensch, 292
 Higgs, Peter, 40
 Higgs-Boson, 80
 Hilfschromosomen, Genmodule, 746
 Hippocampus, 310, 538, 553
 Hirngewicht, Intelligenz, 524
 Hirnstamm, 519
 Histone, 219, 280, 289, 290
 Hobbes, Thomas, 673
 Hobbit, 468
 Hodder, Ian, Ursache neolithischer
 Revolution, 474
 Hohes Alter, Antike, 762
 Höhlen, SO₂, 239
 Holzkohle, Schwarztöne, 619
 Homeobox, 304
 Hominiden, aufrechter Gang, 518
 Hominiden, buschförmige Evolution, 470
 Hominiden, erste, 435
 Homo erectus, Asien, 448, 450
 Homo ergaster, 447 f, 600
 Homo floresiensis, 468
 Homo georgicus, 445 f
 Homo habilis, 444 f
 Homo heidelbergensis, 450 f
 Homo neanderthalensis, 451
 Homo sapiens, Cro-Magnon, 459 f, 462,
 467, 471
 Horner, Jonathan, 146
 Horvath-Stöger, Elefantenlaute, 625
 Hoxgen, Schritt aufs Land, 350
 Hox-Gene, 275, 302, 303
 Hoyle, Sir Fred, 88, 343
 Hubble, Edwin, 25
 Hubble, Weltraumteleskop, 140–144
 Hubble-Konstante, 94
 Hublin, Jean-Jacques, Paläolithikum, 510
 Human Brain Project, 533
 Humanismus, technologischer, de Rosnay,
 773
 Humus, Böden, 480
 Hund, Wolf, 490 f
 Hunderassen, 300, 491
 Hundertjährige Japanerinnen, 764
 Hunziker Patrick, 709
 Hutchinson-Gilford-Progeria-Syndrom,
 Kurzlebigkeit, 761
 Huxley, Julian, Evolution, 368
 Hybridisierung, 302, 316
 Hypometabolismus, 200
 Hypothermie, Mensch, 200 f
 IBM, Zukunftsperspektiven, 731 f
 IBMP (Institute of Medical and Biological
 Problems), 197
 Ikonografie, Evolution, 325
 Immortalisten, 768
 Immunoglobulin-Gene, 280
 Imperator, 510
 Implosion, 61
 Independence Day, 206
 Indischer Tiger, gefährdete Art, 382
 Industriemelanismus, Birkenspanner, 297
 Infektionskrankheiten, Mensch auf Tier, 696
 Infektionskrankheiten, Tier auf Mensch, 696
 Inflationäre Phase, 43
 Inkas, Kampf gegen Francisco Pizarro, 498
 Insektenarten, 326
 Insektenauge, 305
 Instinktives Verhalten, 551
 Intelligente Zivilisationen, Universum, 207
 Intelligenz, kollektive, de Rosnay, 773
 Intensivagrikultur, 397
 Intensivnutzung, 484
 Internationaler Linearcollider(ILC), 41
 Interstellare Filamente, 115
 Interstellare Gas-Staub-Wolken, 221, 223,
 242
 Interstellare organische Moleküle, 242 f
 Interstellare Reisen, 210
 Interstellarer Raum, 165
 Interstellarer Staub, 89
 Intron, 277
 Inzuchtsdepression, 381
 Io, Jupitermond, 165
 Ionenkanalprotein, 530
 Irido-Virus, 266
 Isolation, ökologische, 318
 ISS (International Space Station), 118

ISS, Experimente, 171
 ITER, Kernfusionsreaktor, 193
 Iterated Prisoner's Dilemma, 641
 Itokawa, Asteroid, 173

 Jacob, François, Makroevolution, 307
 Jacobson, Ted, 79
 Jagd, gemeinsame, Mensch, 580 f
 Jäger und Sammler, Yanomani, 583
 Jäger-Sammler, Infektionskrankheiten, 499
 Jäger-Sammler-Gruppe, erstmalige Berufe, 509 f
 James Webb, Infrarot-Weltraumteleskop, 117
 Jan Ambjorn, 81
 Jäncke, Lutz, 614
 Jay, Daniel G., 249
 Jenkins, Alejandro, 72
 Joshi, Pankai, 107
 Joy, Bill, 704
 Verne, Jules, 395
 Jupiter, Atmosphäre, 145
 Jura, Michael A., 154
 Jurassic Park, 322
 Juri Gagarin, 159
 Jurkiewicz, Jerzy, 81

 Kaku Michio, 210, 212, 717 f
 Kältestarre, Vögel, 199
 Kambrische Explosion, 345
 Kambrische Fauna, 324
 Kambrische Fauna, China, 324
 Kambrische Revolution, 324, 329
 Kamele, Dromedar und Trampeltier, 492
 Kamelrennen, 492
 Kampf ums Überleben, Joachim Bauer, 328
 Kandel, Eric, 530
 Kandel, Eric, cognitive enhancer, 740
 Kaneko, Takaaki, Rabenvögel, 555
 Kaninchen, Myxomatose-Virus, 499 f
 Kannibalismus, Mensch, 582
 Kanzi, 591, 593 f
 Kanzi, Malerei, 621
 Kartoffeln, Hungersnöte, 478
 Kasparow, Gary, 702
 Katalase, freie Radikale, 755
 Katze, 492 f, 506
 Katzendressur, Gaby Federer, 492

 Kawai, M., 578
 Keilschrift, 604
 Keimbahnenänderung, 743, 748 f
 Kelvin, 27
 Kennedy, John F., Rede, 159
 Kepler, Mission, 143
 Kepler, Weltraumsonde, 205
 Kernreaktionen, 126
 Kernreaktoren, Anzahl weltweit, 684
 Kernverschmelzung, 46
 Khan, A.Q., Anleitung A-Waffen, Verkauf, 683
 Kibo, japanisches Labor, 172
 Kiefern, 347
 Kimura, M., Neutralitätstheorie, 297
 Kin selection, 656
 Kinder, Hilfeleistungen an Erwachsene, 674
 Kinderlähmungs-Virus, künstliches, 692 f
 King Kong, 425
 King, Mary-Claire, 514
 Kitlinermiur, Arktis, 584
 Klassische Elementarteilchenphysik, 45
 Klatsch, 601 f
 Klebstoff, Neandertaler, 455
 Kleidungsstück, 507
 Kleinhirn, 520
 Klimaerwärmung, Flora und Fauna, 407
 Kloakentiere, 357
 Klonen, 726,
 Klose, Joachim, Epigenetik bei Mäusen, 292
 Knochenfische, 349
 Knorpelfische, 349
 Koch, Christof, 540
 Kognitive Fähigkeiten, 547
 Kohlenmonoxid (CO), 143
 Kohlenstoffchemie, 221
 Kohlenstoffkerne, 100, 152
 Kolkraben, Täuschungsmanöver, 548
 Kollagen, 724, 768
 Kolonien, erste, 339
 Kometen, 127, 242
 Kometenstaub, 244
 Kommunikation, 623
 Kommunikation, Elefanten, 624
 Kommunikation, Wale, 539
 Kompagnons, diverse, 498
 Komplexität in Evolution, 306
 Koniferen, 347 f

Königspinguine, Temperaturwechsel, Effekt, 409
 Konjugation, 282
 Konkordanzmodell, 49, 88
 Kontrollmission Erde, 166
 Konvektionsströmungen, 136
 Kooperation, 640–645
 Kooperation, Natur, 328
 Kopfrechnen, Makaken, Papagei Alex, Schimpansen, 548 f
 Korallen, 344, 391 f
 Kosmische Strahlung, 109
 Kosmischer Staub, 127
 Krallenaffen, 432
 Kramel, Katharina, Gestik, 589
 Kramnik, Vladimir, 702
 Krankheit, monogenetische, 278
 Krankheiten, Genetik, 733
 Krause, Jens, 648
 Kreation Organismen, Christian de Duve, 747
 Kreationismus, (Intelligent Design), 330, 332
 Kreationseinheiten, 92
 Krebs, 278
 Kreutzer, Michel, 622
 Krieg im Weltall, Abkommen, 689
 Krieg, Informatik-, Cyberwar, 686
 Krieg, 686, 698
 Kriege, Mesopotamien, 580
 Krill, 395
 Kriminalität, Rückgang, 584
 Kruse, Löster, Knochenbau, 312
 Küchenschaben, Roboteranipulation, 648
 Kugelsternhaufen, 91
 Kuh, 487
 Kuipergürtel, 129, 130
 Kultur, Definition de Waal, 574
 Kultur, 574–576
 Kulturpflanzen, riesiges Potential, 378
 Küng, Hans, Grundethos, 679
 Kunst, Cro-Magnon, 615–619
 Kurzzeitgedächtnis, Verstärken existierender Synapsen, 540

 Labeyrie, Antoine, 144
 Lachen, 587 f
 Lactase-Gen, 314
 Laetoli, Australopithecus, 441
 Laktose, 283
 Laktose-Gen, Mutante, 283
 Lama, 431, 491
 Lamarckismus, 290
 Landleben, 349
 Landpflanzen, erste, 346
 Landschaft, Prägung auf Leute, 299
 Landua, Rolf, 67, 79, 772
 Landwirtschaft, 485, 499
 Landwirtschaftliche Revolution, 473
 Landwirtschaftliche Revolution, Japan, 475
 Langlebigkeit, Anteil Genetik/Umwelt, 765
 Lärchen, 347
 Lascaux, Höhle, 617
 Laskar, Jacques, 128
 Lauf, Vormenschen, 517
 Laughlin, Greg, 83, 149
 Laurasia, Superkontinent, 137
 Le Bohec, Céline, 409
 Leakey, Louis, 444
 Leakey, Mary, 441
 Leben, Alter, 263
 Leben, Computerkreationen, 721
 Leben, Entstehung, zufällig oder zwangsläufig?, 365 ff
 Leben, extraterrestrisches, 268
 Leben, intelligentes, 145, 209, 269, 524
 Leben, submariner Ursprung, 238
 Leben, Tiefengestein, 247
 Lebensdauer, Niedrigkaloriendiät, 759
 Lebenserwartung, spezifische Gensequenz, 760
 Lebensraumzerstörung, 381
 Lederman, Leon, 40
 Ledoux, Joseph, Phänomen Angst, 546
 Lehmhäuser, Eigenheim, 475
 Lehninger, A.L., Leben als wahrscheinlicher Prozess, 370
 Lemaître, Georges, 26, 64
 Lenan, Thiery, 621
 Leptonen, 32
 Lernfähigkeit, Alter, 523
 Lernverhalten, Beispiele, 551
 Lesch, Harald, 76
 Lesen, Schreiben, fMRI, 596
 Leuchtkraft, 141
 Lewis Edward, Hox-Gene, 307
 LHC (Large Hadron Collider), 38
 Liberati, Stefano, 107

- Liebal, Katja, 430
 Lieber, Charles M., 707
 Lieu, Richard, 89
 Lin, Douglas, N.C., 131
 Linde, Andrei, 68, 70
 Linezolid, 259
 Linnaeus, Carolus, Systema Naturae, 313
 Linné, Menschen = Primaten, 421
 Liposomen, 250
 Lithiosphäre, 135
 Little Food, Australopithecus, 441
 Loeb, Abraham, 109
 Loftus, Elisabeth, verdrängte
 Gedächtnisinhalte, 542
 Lokale Gruppe, 113
 Loll, Renate, 81
 Loop-Quantengravitation(LQG), 79
 Loose, Christopher, Peptid-Antibiotika, 260
 Lorenz, Konrad, Hemmungsmechanismus,
 628
 Lorvelec, Olivier, Elimination exotischer
 Lebewesen, 405
 Lost-City-Hydrothermalquellen, 239
 Löwer, Chris, 532
 LUCA (Last Universal Common Ancestor),
 337
 Luchs, Wiederansiedelung, 412 f
 Lucy, Australopithecus, 439 f
 Lucy, Läuferin, 518
 Ludwig, Arne, 488
 Luzifer-Effekt, Philip Zimbardo, 673

 Mackay, Trudy, F.C., 659
 Madagaskar, Megafauna, 364
 Maeder, André, 144
 Magerwiesen, ideale, 398
 Magnesiumkerne, 152
 Magnetfeld Erde, 134 f
 Maier Josephina, 400
 Mais-Gene, 281
 Makaken, 578, 591
 Makroevolution, 313
 Makrosmaten, Säuger, 358
 Malan, André, 199
 Malaria-Ausdehnung, Klimaerwärmung, 410
 Malariaresistenz und Sichelzellanämie, 299
 Malraux, André, 21. Jahrhundert = religiöses
 Jahrhundert, 665

 Malaysia, Drehscheibe illegalen Tierhandels,
 383
 Mama-Virus, Sputniks, 267
 Mammut, 321 f
 Mangroven, 389
 Mangyan, Insel Mindoro, 584
 Mania, Dietrich, 454
 Männer, Lebensdauer, 763
 Manser Marta, Erdmännchen, 659
 Margulis, Lynn, Endosymbiontenhypothese,
 301 f, 328, 336
 Margulis, Lynn, Fusionen in Evolution, 328
 Markram, Henry, 521, 533
 Markt, Selbstregulierung, 775
 Marler, Peter, 598
 Mars, 128, 175–180, 196
 Marsreise, 195, 197
 Martin, Paul, 364
 Maschinen, Grösse von Molekülen, 719
 Massensterben, Evolution, 358 f
 Massensterben, sechstes, 364
 Massentierhaltung, industrielle, 502
 Mastergene, 275, 302 ff, 306
 Mather, John, 28
 Matsuzawa, Tetsuro, 539
 Matterness, Jay, 471
 Matthieu, Ricard, Meditationsstudie, 663
 Maulesel, 490
 Maultier, 490
 Maus, Altersgene, 751
 Mäuse, Lebensverlängerung, 287
 Maus-Gene, 276
 Mayor, Michel, 138, 142, 147
 Mayr., Ernst, 306
 Mbuti-Pygmäen, Kongo, 584
 Mc Clintock, Barbara, 281
 McDermot, Josh, Musik als Nebeneffekt, 613
 McDonald, Kirk, 33
 McMaster, 607
 Meditation, 662 f
 Meduse Turritopsis, Rückdifferenzierung, 758
 Meere, sonare Verunreinigung, 392
 Meeresanemonen, 344
 Meereskatzen, Gestensprache, 624
 Meeresnachtschnecke Elysia, 251
 Megafauna, Ausrottung, 364
 Mehrjährige Kulturpflanzen, Vorteile, 479 f
 Meier, Josephina, 419

Meiose, 341 f
 Melatonin, freie Radikale, 755
 Membran, Abgrenzung Zelle, 248
 Membran, semipermeable, 249
 Menge abschätzen, Schimpansen, Löwen, 549
 Mensch / Schimpansen-Linie, 437
 Mensch, Einzigartigkeit, 284
 Mensch, Stellung im System, 421
 Menschenaffen, 422, 432, 599, 620
 Menschengene, 516
 Menschheitsgehirn, Rolf Landua, 772
 Menschliche Moral, Sozialverhalten von Säugern, 670
 Menschliches Verhalten, genetische Basis, 626
 Merkel, Reinhard, 740
 Merkur-Sonden, 186 f
 Meselson, Matthew, Besitz gefährlicher Krankheitserreger, 712
 Messenger RNA, 276
 Metallknollen, Schwarze Raucher, 239
 Metallurgie, 507
 Metaman, 772
 Meteorit, Murchison, 231
 Meteorit, organische Substanzen, 228
 Meteoriten, 173
 Methan (CH₄), 143, 167
 Methylierung, DANN-, 219, 289
 Methylierung, Protein-, 219
 Meyer, Franz Carl, 452
 Meyer, U., Knochenbau, 312
 Microbodies, 335
 Migration, Menschheitsgeschichte, 462
 Mikrobiot, 257
 Mikroorganismen, Abfall beseitigen bis 2020, 719
 Mikroorganismen, 238, 256, 719
 Mikroprozessoren, Zukunft, 718
 Mikro-RNA, 218, 275–277, 282
 Mikrowellen-Hintergrundstrahlung, 27, 87 f
 Mikucki, Jill, 240
 Milchstrassengalaxie, 51, 113, 144
 Milchstrassengalaxie, Fusion Andromedagalaxie, 154 f
 Miller, Stanley, 224
 Mimenlesen, 589
 Mimi-Viren, Familie, 337
 Mimi-Virus, 266
 Mineralien, Katalysatoren, 235
 Minimeteorite, 195
 Miranda, Uranusmond, 165
 Missing links, 273
 Mission Apollo, 132
 Mission Mond, 189
 mitochondriale DNA, freie Radikale, 752
 Mitochondrien, 333 f
 Mittag, Jonathan, 89
 Mittelhirn, 519
 Mlodinow, Leonard, 81
 Moa, DNA, 321
 Moleküle, Erschaffung, 47
 Mönche, Lebensdauer, 763
 Mond, 86, 132, 147, 190 f
 Mondauto, 160,
 Monde, unterirdische Ozeane, 208
 Mondlandungen, 159
 Mondmission, Sovjets, 160
 Monod, Jacques, 366
 Monokulturen, 377, 484, 499
 Monon, 770 f, 774
 Montalcini, Rita Levi, Charta der Menschheit, 680
 Montmorillonit, Katalysator, 250
 Moorhead, Paul, Zellteilungsfähigkeit, 755 f
 Moral, Konfliktlösung, Kooperation, 670
 Moral, soziales Phänomen, Gazzaniga, 677
 Moralinstinkt, Marc Hauser 677
 Morley, Iain, 458
 Morris, Filip, 204
 Mosaik, genetisches, 286
 Moser Edvard, Raumkoordinatensystem, 309 f
 Mountain View, California, S.E.T.I., 204
 MRI (Magnetic Resonance Imaging), 527
 mRNA (messenger RNA), 218
 mRNA-Basentriplet, 217
 M-Theorie, 78, 82
 Müller, Cornelia, 588
 Müller, Denis und Kans Küng, 4 ethische Grundsätze, 679
 Müller, Dominique, 541
 Müller, Emeritus Hansjakob, 289
 Müller, Rolf, 261
 Multireligiosität, 666
 Multiversum, 88
 Murchison-Meteorit, Aminosäuren, 242

Musik, 610–614
 Muskeldystrophie, 281
 Mukoviszidose, 278
 Mustangs, USA, 489
 Mutation, stumme, 278
 Mutationsraten, 275
 Mutatoren, 275
 Mutualismus, 328, 643
 Mutzel, Rupert, 748
 Myelin, 534
 Myon-Neutrinos, 57

Nacktsamer, Oberperm, 347
 Nadau, Josef, Epigenetik, 293
 Nahrungsmittelknappheit, 778
 Nahrungsmittelproduktion,
 Landschaftsschutz, 485
 Nanoassembler, 706
 Nanocontainer, 708 f
 Nanopartikel, Gesundheit, 706 f
 Nanoroboter, miniaturisierte, Blutbahnen, 708
 Nanoröhren, Eigenschaften, 707 f
 Nanoröhren-Pinzette, 707
 Nanostrukturen, gezielte, 707
 Nanotechnologie, 704 f, 711,
 Nanoteilchen, unerwartete Eigenschaften, 707
 Nanowissenschaft, Begründer, 705
 Narlikar, Jayant V, 92
 Naturforscher, Frankreich, Vogelzählung, 408
 Naturkonstanten, 83
 Naturschutzgebiete, 417
 Neandertaler, 451–495, 666
 Negative Schwerkraft, 43
 Neoliberalismus, 775
 Neolithikum, Lebenserwartung, 500
 Neolithische Einwanderung,
 Y-Chromosom, 475
 Neolithische Revolution, 473
 Neolithische Revolution, Religiosität, 474
 Neonkerne, 152
 Neotenie, 516
 Neptun, Winde, 165
 Nervenzellen, Verbindungsnetz, Epigenetik,
 522
 Neubauer Aljoscha, 288
 Neue Welt, Nord-Süd-Achse, 508 f
 Neukum, Gerhard, 194
 Neuralrohr, 519

Neuroenhancer, 736
 Neuronale Circuits, 701
 Neuronale Rekonversion, Stanislas
 Dehaene, 595
 Neuronales Netz, Geburt, 288
 Neuronen, 522–524, 531, 540
 Neurotheologie, Meditation, 662
 Neurotransmitter, 540
 Neurowissenschaftler, 536
 Neuseeland, Menschenaffenrechte, 432
 Neutralinos, 56
 Neutrinos, 45, 56
 Neutrinos, Oszillation, 57
 NeutronenàProtonen, 45
 Neutronen, 30
 Neutronenstern, 100, 139, 151, 153
 Newberg, Andrew, 661
 Nichtregierungsorganisationen, Zahl, 417
 Nicht-teilen, Machiguenga, 653
 Nicollier, Claude, 192
 Nishida, Toshisada, 576
 Nonkommunative Geometrie, 80
 Nord-Süd-Achse, Bedeutung für
 Domestizierung, 508
 Nowicki, Stephan, 604
 Nuklearwaffen, 682 f
 Nukleosom, 219
 Nukleosynthese, 28, 46, 88
 Nukleotide, 213
 Nukleotide, Synthese, 227, 229, 235
 Nukleotidsequenzen, Projekt 1 000
 Genome, 733
 Nüsslein-Volhard, Christiane, 307
 Nutzpflanzen, Rotation, 484
 Nutztiere, Oocyten / Samenbank, 380
 Nutztiere, Selektion, 494
 Nutztierassen, dritte Welt, 380
 Nutztierzucht, einstige, 501

Oase-2-Schädel, 467
 Oberpfalz, Tiefenbohrung, 247
 Ockertöne, 619
 Ogi, Adolf, 608
 Okinawa, Lebensstil, 759 f
 Ökologischer Kollaps, 320
 Ökosysteme, 320, 376, 392, 418
 Ökotourismus, 387
 Oktar, Adnan, Kreationsatlas, 331

Olfaktor-Rezeptoren-Gene, 280
 Omega Centauri, Zwerggalaxie, 103
 Oortsche Wolke, 129, 130
 Oparin, Alexander I., 222, 224
 Optogenetik, Mäuse, 531
 Orang- Utan, 423–425, 557, 621 f.
 Orbitalen, 30
 Ordovizium, spätes, Landpflanzen, 346
 Organische Substanzen, Ozeane, Seen, 223
 Organismen, Lebenserwartungen, 750
 Organkultur, 723
 Orgel, Leslie, RNA-Doppelhelix
 Orion-Konstellation, 112
 Orion-Weltraumfahrzeug, 193
 Orphan diseases, Diagnose, 734
 Orphanet, Frankreich, Datenbank, 735
 Orrorin tugenensis, 535 ff
 Osborne Anne, 462
 Ostracodermen, 346
 Östrogentherapie, 766
 Ost-West-Achse, Bedeutung für
 Domestizierung, 508
 Ott, Martin, 487
 Ott, Ulrich, 662
 Out of Africa-Hypothese, 461, 463, 464
 Ozeane, 167
 Ozeane, unterirdische, 245
 Ozon (O₃), 143

 Pääbo, Svante, 456 f, 515
 Paläoanthropologie, Methoden, 433
 Paläoindianische Jäger , 364
 Paläolithikum, goldenes, 581
 Paläontologie, 272
 Palmer, Margaret, Flussrenaturierungsprojekte, 399
 Palmöl-Plantagen, 387
 Palmölplantagen, Bedrohung Biodiversität, 383
 Panbanisha, Schimpanse, Malerei, 621
 Pandemie, Pockenepidemie, Azteken, 500
 Pandemien, Prävention, 696
 Pandorina, Flagellaten, 339
 Pangäa, Superkontinent, 136
 Panspermie, 243
 Panzernashorn, Wilderei, 381 f
 Papagei Alex, 525, 548, 598, 626
 Parabolantennen, 117

 Paralleluniversum, 45
 Parisi, Giorgio, 647
 Paro, Renato, Hitzeschock, Drosophila, 292
 Parsons, Lawrence M., 607
 Partikelpaare, reale, 64
 Partikelpaare, virtuelle, 64
 Pasqual, Michel, Elimination exotischer Lebewesen, 405
 Pathogene Bakterien, DNA-Sequenzierung, 694
 Pauli, Wolfgang, 56
 Pauling, Linus, Hämoglobin, 298
 Pauling, Linus, Vitamin C-Effekt, 753
 Pawlow, Iwan Petrowitsch, klassische Konditionierung, 552
 Pax 6-Gen, 305
 Pembrey, Marcus, 292
 Penrose, Roger, 108
 Penzias, Arno, 26
 Pepperberg, Irene, Papagei Alex, 525
 Peptide, thermale, 232
 Peptidsynthese, Diaminosäuren, 231
 Perez, Gilad, 72
 Perlmutter, Carl Saul, 49
 Persönlichkeit, 563
 Pestbakterien, multiresistente, 694
 PET (Positron Emission Tomography), 527
 Peter, Armin, Vernetzung renaturierter Flussabschnitte, 400
 Petit, Odile, 627
 Pferd, 488 f
 Pflanzenarten, Philippinen, 317
 Pflanzenarten, Regenwald, 317
 Pflanzenhybride, 315
 Pheromone, Sprache, 624
 Phillips, Ben, 318
 Phobie, Behandlung, 536
 Phoenix, Rasterkraftmikroskop, 180
 Phosphatgruppe, 214
 Phospholipid-Proteinmembran, 249
 Phospholipidvesikel, Lysozym, 249
 Phosphorylierung, Histone, 220
 Phylogenetische Molekulargenetik, 337
 Physik und Chemie, kosmisch deterministische, 209
 Piaget, Jean, moralische Fähigkeiten, 674
 PID (Präimplantationsdiagnostik), 728
 Piel, Jörg, Antibiotika, 261

- Piguet, Christian, 703
 Pilze, mehrzellige, 337
 Pinker Harold, Gewaltverbrechen, 584 f
 Pinker, Stephen, Wortsprache,
 Gehirnmodul, 594
 Piraino, Stefano, 758
 Pithecanthropus, 448
 Placodermen, 351
 PLANCK, 27
 Planck, 90
 Planck, Max, 18, 53
 Planck-Länge, 80
 Planet, Verletzbarkeit, Klaus Schwab, 774,
 777–779
 Planetarischer Nebel, 152
 Planeten, ohne Bahnen, 132
 Planeten, Verdampfung, 156
 Planetenbildung, 128
 Planeten-Ringe, 188
 Planetesimal, 126
 Plasma, heisses, 113
 Plasma, Universum, 94
 Plattwurm, Pax 6, 305
 Plazentatiere, Alter, 357
 Plurizelluläre Mikroorganismen, 341
 Plutonium-Kernwaffen, 684
 PNA (Peptide Nucleic Acid), 237
 Pockenvirus, Kauf von Teilstücken, 693
 Polgar, Judith, 288
 Polgar, Laszlo, 288
 Poliakov, Valeri, 195
 Pollard, Katherine S. regulatorische DNA-
 Abschnitte, 516
 Polymerase-Chain-Reaction, 321
 Polyp, Alterung, 758
 Polypeptidkette, 218
 Polyp-Gene, 276
 Polyphenole, 754
 Polyploidie, 281
 Pompona, E. Daniel, 758
 Population, Ende Jahrhundert, 585
 Populationswachstum, 585
 Portmann, Adolf, 632
 Positron, 33
 Pourmond, Ali, 175
 Präbiotik, 235
 Präbiotische Chemie, Computersimula-
 tionen, 246
 Präbiotische Syntheseexperimente, 224
 Präkambrium, 262
 Prendergast, Patrick, 311 f
 Price G. Spieltheorie, 642
 Prokaryonten, 253, 262
 Prolaktin, Fürsorglichkeit, 545
 Promoter, 277
 Proteine, Mensch, Anzahl, 742
 Proteine, Primärstruktur, 216
 Proteine, Struktur, 216, 743
 Proteinpolymeren, Synthese, 231
 Proteinsynthese, 216 ff
 Proteom, Definition, 741
 Proteomik, 741
 Protobionten, erste, 248
 Proto-Enzyme, 234
 Protobufen, 355
 Protogalaxien, 114, 116
 Protonen, 30
 Protonen, Lebensdauer, 155
 Protosterne, 99
 Provigil, Effekte, 739
 Prozac, Antidepressiva, 736 f
 Przewalski-Pferd, 488
 Pseudomonas aeruginosa, 260
 Psychoanalytiker, 536
 Puerto Rico-Radioteleskop, 204
 Punktmutationen, 275, 278
 Pyrolobus fumarii, 255

 Quallen, leuchtende Nervenzellen, 552
 Quallenplage, Klimaerwärmung, 409 f
 Quantencomputer, 71
 Quanteneffekt, 107
 Quantenfluktuation, 44, 63, 64
 Quantentheorie, 77
 Quarks, 30
 Quarksuppe, 45, 87
 Quasare, 156
 Quastenflosser, Latimeria chalumnae, 369
 Quellennachweis, 799-803
 Quéloz, Didier, 138
 Quevedo, Fernando, 61

 Rabe, Jakob, Sprache imitieren, 598
 Rabenkrähen, intelligente, 525
 Rache, Gerechtigkeitssinn, 653
 Radialsymmetrie, 344

Radioemissionen, 167
 Radiopulsare, 153
 Radiowellen, 119, 204
 Raoult, Didier, Mimi-Virus, 266, 337
 Räsänen, Syksy, 52
 Rastertunnelmikroskop, 705 f
 Raum, intergalaktischer, 111
 Raum, interstellärer, 112
 Raumweh, 195
 Raumzeit, 43
 Raumzeit-Schaum, 70
 Rause, Vince 661
 Recycling Hightech-, Deutschland, 777
 Rees, Sir Martin, 75, 211, 681, 709 f, 711 f
 Reeves, Hubert, 56
 Regeneration, Axolotl, 758 f
 Regeneration, Mensch, 759
 Regeneration, Planarie, 759
 Regeneration, Zebrafisch, 759
 Regenwald, tropischer, 236, 384 f, 387
 Regenwälder Amazonas, Abholzung, 365
 Regenwurm, 481
 Regulatorische Netzwerke, 313
 Reiche Biodiversität, Vorteil Klima-
 erwärmung, 411
 Reis, *Oryza nivara*, Virusresistenz, 377
 Rekombination, 100, 275, 281
 Relativitätstheorie, A. Einstein, 77
 Religion à la carte, 666
 Religion, 660–669
 Religionsfreiheit, 666
 Religiosität, Hang zu, 661, 664
 Religiosität, Koevolution Genetik und
 Kultur, 664
 Renaturierung, Flüsse, 398
 RepCet (Réseau de Réport des Grand
 Cétacés), 394
 Repenomamis gigantus, 357
 Reptilien, Amnion, 353
 Reptilien, exotische, 404
 Restricted Design, Computer, 701
 Resvératrol, Polyphenol, 754
 Resvératrol, Sirtuin-Gene, Maus, 760
 Retrotranskriptase, 237, 281
 Revolution, wissenschaftlich-industrielle, 585
 Reziprozität, de Waal, 676
 Rhythmus, circadianer, 308
 Ribosomen, 276, 335
 Riesenhirsch, 301
 Riesenstaatsqualle, 395
 Riess, Adam G., 49
 Rio-Abkommen, 379
 Ritalin, 738–740
 Rizzolatti, G., 553
 RNA (Ribonukleinsäure), 213 f
 RNA, Editor-, 277
 RNA, Interferenz-, 277
 RNA, pyranosyl-, 237
 RNA, Replikation, 235
 RNA, ribosomale, 277
 RNA, Telomer-, 277
 RNA, transfer, 277
 RNA-Editing, 286
 RNA-Polymerase, 220
 RNA-templates, 235
 RNA-Welt, 235
 Roboter, 703 f, 711, 719
 Robotik, 703, 711
 Rocard, Francis, 120
 Rodinia, Superkontinent, 137
 Rodrigues, Sarina, 654
 Rohrer, Heinrich, 705
 Romilius, Pollio, Antike, Langlebigkeit, 762
 Röntgenobservatorium, 120
 Röntgen-Photonen, 110
 Röntgenstrahlen, 102
 Roques, Alain, 405
 Rote Zwerge, 124, 149 ff
 Roth, Gerhard, Myelin, 526
 Rotverschiebung, 25, 49, 51, 88, 90
 Rovelli, Carlo, 79
 Rubin, Edward, 456
 Rubinstein, Arthur, 523
 Rumpho, Mary
 Rüstow, Alexander, 775
 Rüstungsausgaben, weltweite, 685
 Rutherford, Ernst, Kernenergie, 714 f
 S.E.T.I.(Search for Extraterrestrial
 Intelligence)-Programm, 204
 Saatkrähen, Intelligenz, 526
 Sacharow, Andrej, 45
 Sachse, Dagmar, 609
 Sacks, Oliver, 613
 Sagan, Carl, 163, 210
 Saharazone, Situation, 775 f

- Saib, Ali, 268
- Salamander, Bewegungsapparat, 351
- Samenbanken, planetare, 379
- Saslow, Laura, 654
- Satelliten, 161 f
- Satelliten-Kollision, 188
- Saturn, Atmosphäre, 145
- Saturn-5-Trägerrakete, 160
- Saturn-Ringe, 187
- Saturn-Sonde, 187
- Sauerstoffkerne, 100, 152
- Säuger, Kauapparat, 358
- Säugetiere, frühe, 356 f
- Sauropoden, 354
- Savage-Rumbaugh, Sue, Kanzi, 591
- Savant, Alex Lemaire, 572
- Savant, Alonzo Clemons, 571
- Savant, Daniel Tammer, 569 f
- Savant, Gilles Trehin, 570
- Savant, Kim Peek, 567 f
- Savant, Rüdiger Gamm, 572
- Savant, Stephen Wiltshire, 565
- Savant, Tommy McHugh, 571
- Savants, 566
- Schachspiel und Intelligenz, 289
- Schafherde, Gruppenbildung, 648
- Schaltkreise, neuronale, 532, 701
- Schatz, Emeritus Gottfried, 240, 275, 280
- Schatz, Gottfried, intelligente Werkstoffe, 717
- Scheibe, protoplanetare, 126
- Scheich, Henning, Zukunft cognitive enhancer, 740
- Scheingefängnis-Experiment, 673
- Scherf, Henning, 615
- Schibler, Üli, 309
- Schimpanse, Dominanzverhalten, 429
- Schimpanse, gemeiner, Pan troglodytes, 428 f
- Schimpanse, Genozid, 429
- Schimpanse, 428 f, 430, 513–516, 547 f, 575 f, 579, 589 f, 628
- Schimpanse, Zwerg-, Pan paniscus, Bonobo, 428 f
- Schlaf, EEG, 527
- Schleifen-Quantengravitation, 79
- Schleker, Manfred, Wertepyramide, 680
- Schlenker, Gerd, Leiden, Wohlbefinden, Schmerzen, 544
- Schlögl, Christian, gefiederte Menschenaffen, 525, Schlussbetrachtung, 781–797
- Schmerling, Philippe-Charles, 451
- Schmetterlinge, 354
- Schmetterlingsarten, fossile, 320
- Schmidt, Helmut, Religion, 680
- Schmitt Thomas, 288
- Schmutzige Bombe, 684
- Schnabel, Ulrich, Neuropsychanalyse, 529
- Schnabeltiere, 357
- Schneider, Hilmar, künftiger Mangel an Arbeitskräften, 777
- Schöning, Barbara, Wirbeltiere, Emotionen, 543
- Schopf, William, Stromatolithen, 262
- Schrift, chinesische, 605
- Schrift, Erfindung, 604
- Schrift, Hieroglyphen-, 604 f
- Schrift, Maya-, 605
- Schrift, mexikanische Indianer, 605
- Schrift, sumerisch-babylonische Keilschrift, 604
- Schunk, Daniel, 652
- Schwab, Klaus, Gründer WEF, 778
- Schwaben-Venus, 616
- Schwache Kraft, 34, 85
- Schwammtauchen grosser Tümmler, 578
- Schwänzeltanz, Bienen, 624
- Schwarmbildung, Beispiele, 645
- Schwarz, Dominik, 89
- Schwarze Löcher, Explosion, 156
- Schwarze Löcher, im Labor erzeugte, 103
- Schwarze Löcher, intermediäre, 103
- Schwarze Löcher, künstliche Strangelet-Quarks, 710
- Schwarze Löcher, künstliche, 719 f
- Schwarze Löcher, stellare, 103
- Schwarze Löcher, supramassive, 103
- Schwarze Raucher, 238
- Schwarzer Stern, 107
- Schwarzes Loch, Ereignishorizont, 104
- Schwarzes Loch, Singularität, 104
- Schwarzes Loch, Verdampfung, 106
- Schwefelchemie, 222
- Schwefel-Eisen-Welt, 241
- Schwefelkerne, 152
- Schwefelsäure, H₂SO₄, 239

Schweine, Allesfresser, 501
 Schweine, Intelligenz, 502
 Schwenk, Klaus, Hybride, 316
 Schwerefeld, 135
 Schwereelosigkeit, Blutzirkulation, 195
 Schwerkraft, 34
 Schwestererden, 147
 Schwesterplanet, Bedingungen, 207
 Schwesterplaneten, 138
 SCID (Severe Combined
 Immunodeficiency Disease), 722
 SCID, Alain Fischer, 722
 Searcy, William, Ornithologe, 604
 Seed Bank Project,
 Wildpflanzenensamenbank, 375
 Seegraswiesen, Reduktion von
 Überdüngung, 390
 Seeräuberei, somalische Gewässer, Golf
 von Aden, 690
 Sehsinn, Vorformen, 306
 Sekte, Japan, Pathogene, 694
 Selam, Australopithecus, 442
 Selbstbeschränkung, Naturwissenschaften,
 711
 Selbstbeschränkung,
 Staatengemeinschaften, 711
 Selbsttranszendenz, 661
 Selbstzerstörung, Zivilisation, 681
 Selektion, Bedeutung, 296
 Selektion, künstliche, 300
 Selektion, natürliche, 272
 Selektion, sexuelle, Meereselefanten, 300
 Self assembly, Proteinhülle, 265
 Selosse, Marc André, Evolutionsfusionen, 301
 Sen, Amitaba, 79
 Sensoren, biologische Partikel, Metro, 598
 Sensoren, Duftstoffe, 280
 Sentker Andreas, 382, 418
 Sequoias, 347
 Serumalbumin, 282
 Sesshaftigkeit, 473 f
 Sexualität, erste 341
 Sexuelle Reife, Mensch/Schimpanse, 517
 Shanks, G. Dennis, 265
 Shapiro, Emeritus Robert, 230
 Sichelzellanämie, 278, 298
 Sichelzellanämie, 298
 Silikatchemie, 222
 Silikatgestein, 134
 Silizium-Gehirn-Implantate, 728
 Siliziumkerne, 152
 Silizium-Meister-Hirne, 704
 Simpson, Sarah, 396
 Sinanthropus, 448
 Singer, Peter, 671
 Singer, Wolf, 523, 536
 Singer, Wolf, Meditationsstudie, 663
 Singh, J.A.L., 632
 Singularität, mathematische, 61
 Singularität, nackte, 107, 108
 Singularität, physikalische, 42, 61
 Sippenbildung, Neandertaler, 580
 Siriono, südamerikanische, 584
 SKA (Square Kilometer Array)-
 Radioteleskop, 53, 119, 120
 Skinner, B.F., operative Konditionierung, 552
 SLIME's (Subsurface Lithioautotrophic
 Microbial Ecosystems), 208
 Smalley, Richard E., 706
 Small-eye-Gen, Maus, 305
 Smart-1-Impactor, 192
 Smith, John Maynard, 341
 Smith, Maynard, Spieltheorie, 642
 Smith, Tanya
 Smolin, Lee, 79
 Smoot, George, 28
 SNP's (Single Nucleotide Polymorphisms),
 283
 Snyder, Allen, Savants-Kenner, 573 f
 Soderberg, Alicia, 102
 Sojus-Raketen, 170
 Soldaten, 509
 Söldnerrei, 686–688
 Solidarität, Beispiele, 655
 Sonarsystem, Delfine, Pottwale, 393
 Sonego, Sebastiano, 107
 Sonne, 122
 Sonnenwind, heisser, 165
 Sonnenwindsegel, Mond-, 161
 Sonnen-Xenon-Motor, 192
 Sozialdarwinismus, 678
 Soziale Ungleichheiten, erstmalige, 510
 Soziales Gehirn, 623
 Sozialverhalten, Beispiele, 658 f
 Sozialverhalten, Bienen, Ceratina
 lasioglossum, 659

Sozialverhalten, Primaten, de Waal, 676
 Sozialverhalten, Seltenheit, 658
 Soziobiologie, Edward O. Wilson, 626
 Space Shuttles, Weltraumfähren, 174
 Spanische Grippe, 264
 Spanische Grippe, 694
 Spektrometer AMS (Alpha Magnetic Spectrometer), 170
 Spica, Satellit, 141
 Spiegel-Neuronen, Bedeutung, 553 f
 Spieltheorie, Ökonomie-Wissenschaft, 642
 Spieltheorie, Biologie, 642
 Spin 32
 Spiritualität, Dean Hamer, Gottesgen, 661
 Spiritualität, Neurobiologie, 662
 Spitzer-Teleskop, 118
 Spleissen, 217
 Sport, 608 f
 Sport, UNO, Adolf Ogi, 380
 Sprache, Geisteswissenschaften, 603
 Sprache, Science, 603
 Sprachverlust, Kulturverlust, 602 f
 Sprachverlust, Ursachen, 603
 Sputnik 1, 159
 Staat, Arbeitslosigkeit, 776
 Staat, Einhaltung Menschenrechte, 776
 Staat, Föderalismus, Schweiz, 776
 Staat, Schaffung Demokratie, 776
 Staat, Schaffung finanzielle Basis, de Weck, 774
 Staat, Sicherheit als erste Aufgabe, 774
 Staat, soziale Gerechtigkeit, 776
 Städte, Hochkulturen, 509
 Stammhirn, 519
 Stammzellen, adulte, 723, 725
 Stammzellen, embryonale, 723, 725
 Staphylococcus aureus, 259, 261
 Starke Kraft, 34 85
 Starkmann, Glenn, 89
 Staubwolken, 111
 Steady-State-Modell, 92
 Stecklinge, Setzen, Tigris und Euphrat, 477
 Steinböcke, Wiederansiedelung, 412
 Steinhardt, Paul, 67, 95
 Stern Gliese 581, 142
 Sterne, 49, 90, 99, 114
 Sterne, Doppel- und Tripelsysteme, 121
 Sterne, Fusionen, 121
 Sterne, kalte, 114
 Sterne, Recycling-System, 112
 Sterne, supergrosse, 152
 Stickstoffkerne, 100, 152
 Stimmungen, 543
 Stock, Gregory, 746, 772,
 Storch, Volker, 272, 421
 Strahlung, kolossal-langwellige, 157
 Strasburger, Christian, Wachstumshormon, 756
 Strasdeit, Henry, 229
 Stratigrafie, 434
 Stress, Epigenetik, 294 f
 String-Theorie, 78
 Stromatolithen, 262
 Subduktionszone, 137
 Supercomputer, Turing-Test, 700
 Supergalaxienhaufen, 113
 Supernova, 152
 Supernovaexplosion, 100, 108, 144, 221
 Superorganismus, 770
 Superorganismus, Mensch, 257
 Superoxid-Dismutase, Mensch, 755
 Superstring, 94
 Supersymmetrie, 41
 Süssgräser, 348
 Süssmuth, Roderich, Antibiotika, 261
 Sutherland, John, 230
 Synapsen, 534, 540
 Synchronizität, Theorie, Wolf Singer, 523
 Synchrotronstrahlung, 41
 Synthetische Evolutionslehre, 271
 Synthetisierte Moleküle (Präbiotik), 226
 Systematik, 272
 Taddei, François, 258, 758
 Tagliavini, Heidi, Georgienkonflikt, 776
 Tanz, 606 f
 Tanz, Funktion in Gesellschaft, 607
 Tanz, neurobiologische Studien, 606
 Tardigraden, Weltraum, 244 f
 Tarzan, Jonny Weissmüller, 422
 Tattersall, Ian, 470
 Taube, Flugmuskulatur, 356
 Tauben, Orientierung, 495
 Tau-Neutrinos, 57
 Tautz, Jürgen, 497
 Taxonomie, Biodiversität, 419

Taxonomie, Kriterien, 317
 Taxonomie, Methoden, Molekularbiologie, 420
 Taxonomie, Rädertierchen, 316
 Technologien, Fehlprognosen, 714
 Technologien, Prognosen, 717
 Technologische Entwicklung bis 2020, 718
 Technologische Entwicklung bis 2050, 719
 Technologische Entwicklungen 2050–2100, 720
 Teilchen/Antiteilchen-Paare, 44
 Teilen, Stamm Neuguinea, 653
 Tektonische Platten, 128 f, 146
 Telencephalon, 358, 520
 Teleskop, Hyper-, 144
 Teleskop, Neutrino-, 120
 Teleskope, Detektoren, 242
 Tellurische Planeten, 128
 Telomerase, Effekt, 756
 Telomere, 756
 Terminations-Schock, 165
 Termitenjagd, Schimpansen, 547
 Testosterontherapie, Männer, 767
 Tethys, Saturnmond, 184
 Tetrapodenfossilien, 350
 Tevatron, 41
 Theisten, 667
 Theologie, negative, 667
 Thermalquellen, submarine, 238
 Thioester, Nukleotidsynthese, 233
 Thioesterwelt, 233
 Thomson, James, embryonale Stammzellen, 723
 Thymin, 213 f
 Thymin, aus Uracil, 236, f
 Tiefsee, Bedingungen, 395
 Tiefsee, Fischerei, 396
 Tiefsee, Mineralien, 396
 Tiefsee, Wirbellose, 396
 Tiefseekalmar, Nähe Antarktis, 395
 Tiefseetiere, Biolumineszenz, 355
 Tiere, frühe Geschlechtsreife, 375
 Tiere, geringe Fruchtbarkeit, 375
 Tiere, marine, bedrohte, 374
 Tiere, Reduktion der Körpergrösse, 375
 Tigermücke, Klimaerwärmung, 411
 Tiktaalik, roseae, 349, f
 Tillmann, Barbara, 611
 Tipler, Frank, 210
 Titan, Saturnmond, 165, 181–183, 183
 Tolman, Edward, kognitive Karten, 310
 Tomasella, Michael, 674
 Tomonaga, Masaki, 555
 Ton, Oberfläche, 234
 Töpferei, 506
 Toumai, Sahelanthropus tschadensis 435 ff
 Tourismus, sanfter, 382
 TPF (Terrestrial Planet Finder)-Satellit
 Transformation, 282
 Transistoren, Grösse Molekül, 721
 Transistoren, Hafnium, Silizium, 708
 Transkriptase, 217
 Translation, 217
 Transposons, 275, 281
 Transzendenz, mystische, 661
 Treibhausgas CO₂, 145
 Triton, Neptunmond, Geysire, 165
 Trivers, Robert, 649
 tRNA (transfer RNA), 218
 Trono, Didier, 267 f
 Trower, Tandy, 703
 Truffaut, François, 632
 Tsien, Roger, Quallen-Fluoreszenzgen 532
 Turok, Neil, 67, 95
 Tyrannosaurus rex, 353
 Überjagung, prähistorische, 364 f
 Überkosmos, 70
 UFOs (Unidentified Flying Objects), 206
 Umweltfaktoren, 278
 Umweltgipfel Joannisburg, 414
 Umweltgipfel Nagoya, 415
 Umweltgipfel Rio de Janeiro, 414
 Umweltverschmutzung, 381
 Underhill, Peter, 462
 Universeller phylogenetischer Baum, 337 f
 Universum, Geometrie, 50
 Universum, Temperatur, 125
 Universum, zyklisches, 157
 Unsterblichkeit, 750
 Up-Quark, 30
 Uracil, 213 f
 Uran-Anreicherung, 684
 Uran-Kernwaffen, 684
 Uratmosphäre, Unwetter, Blitze, 223
 Urgan, 99

Urknall, 43
 Urknalltheorie, 88
 Urozean, 223
 Ursuppe, 234
 Urvogel, 354
 UV-Bestrahlung, 144, 223, 244

 Vaccari, David A., 483
 Vakuum, falsches, 63
 Vakuum, wahres, 63
 Vakuumenergie, 44
 Van Creveland, Martin, 692
 Van der Meulen, Marjolain, 311 f
 Van Schaik, Carrell, Weissbüschelaffen, 432
 Vancomycin, 259
 Vandalismus, 630
 Veitstanz, 278
 Venter Craig, 693
 Venter Craig, Synthese Mycoplasma-Genom, 745
 Venter, Craig, 284, 322
 Venus, Atmosphäre, 185
 Venus-Sonden, 185
 Vererbung erworbener Eigenschaften, 290
 Verhaltenslehre, 272
 Verwandtschaftsselektion, 656 f
 Verwandtschaftsselektion, Hymenopteren, 656 f
 Verwandtschaftsselektion, Seltenheit, 658
 Verwitterung, chemische, 480
 Verwitterung, mechanische, 480
 Verwitterung, thermische, 480
 Vesikel, Tonerde, 250
 Videospiele, gewalttätige, 631
 Viehhaltung, 487
 Viehassen, 379 f
 Vielzelliges Individuum, 341
 Vielzelligkeit, 335
 Vilenkin, Alexander, 70
 Viren, 263, 265, 267
 Virgo Cluster, 113
 Virgo Galaxienhaufen, 51
 Visser, Matt, 107
 VLT (Very Large Telescope), 115
 Vögel, gefiederte Dinosaurier, 354 f
 Vogelarten, exotische, 403 f
 Vogelarten, Neuguinea, 317
 Vogelgesang, 604, 608, 625

 Vogelhirn, Pallium, 524
 Vogelmännchen, Balz, 300
 Vogelweibchen, Partnerwahl, 300
 Volterra, Andreas, 541
 Volumenquanten, 80
 Volvox, Flagellaten, 339 f
 Vom Einzeller zur Vielzahl der Arten, 333
 Von Braun, Werner, Marslandung, 714
 Von Frisch, Karl, 624
 Vorderer, Peter, 631
 Vulkane, 146
 Vulkane, Zusammensetzung Dämpfe, 229

 Wachstumshormon, Aging, 756
 Wächterhäuser, Günther, Pyrit-Hypothese, 240
 Waffengebrauch, Genozid Mensch/Schimpansen, 580
 Waffenlieferant, USA, 685
 Walcot, Doolittle, 323
 Wald George, Leben als universelles Phänomen, 369
 Wald, Georg, 84
 Wale, 393–395
 Wallace, Russel, 271
 Walzer, Michael, minimale/maximale Moral, 678
 Wanderfeldbau, 384 f
 Wanderratten, Elimination, 406
 Ward, Peter, Mensch als First Class Evolver, 314
 Waschbär, exotischer, 403
 Wasser-Ressourcen, 778
 Wasserstoffatom, Spin, 119
 Wasserstoffatome, 88
 Wasserstoffbrücke, 215
 Watson, James, 284, 744
 Watt, James, Eisenbahn, 716
 Wegener, Alfred, 136
 Weinberg, Steven, 71, 74
 Weissbüschelaffen, Sozialverhalten 432
 Weisse Zwerge, 139, 149, 152, 152
 Weisskopf, Victor, 70
 Weisstannen, 347
 Weitblick, mangelnder, 627, 581
 Wells, Spencer, 475
 Welsch, Ulrich, 272, 421
 Weltall, Sporen, 243

- Weltraumfähren (Space Shuttles), 170
 Weltraumflüge, bemannte, 161
 Weltraumhotel, Bob Bigelow, 203
 Weltraumkolonien, 720
 Weltraumschrott, 188, 189, 205
 Weltraumsonden Pioneer 10 und 11, 162, 166
 Weltraumsonden, Voyager 1 und 2, 163 ff
 Weltraumstation ISS, 168
 Weltraumstation MIR, 168 f
 Weltraumtourismus, 203
 Weltraumvakuum, Organismen, 244
 Weltwirtschaftsbericht, 485 f
 Werkzeuggebrauch, 574
 Werkzeuggebrauch, Bartgeier, 578
 Werkzeuggebrauch, Geier Ostafrika, 578
 Werner, Michael W., 154
 Werner-Syndrom, Helikase, 761
 Werner-Syndrom, Kurzlebigkeit Mensch, 761
 Wernicke-Areal, 600
 Wertepyramide, 680
 Werth, Reinhard, 523
 Whittington, Harry, 324
 Wickramasinghe, Chandra, 243
 Wiederansiedlungen, erfolgreiche, 412
 Wieschus, Eric, 307
 Wiese, Biodiversitätsverlust, Ursachen, 397
 Wiesmann, H.P., Knochenbau, 312
 Wilderei, Bekämpfung, 381
 Wildkatze, 492
 Wildpferd, *Equus ferus*, Aussterben
 Wildtiere, Internetmarkt, 381
 Willmann, Urs, 616
 Wilmut, Ian, geklontes Schaf Dolly, 726
 Wilson, Alan, 514
 Wilson, Allan A., 461
 Wilson, Edward O., 271, 284, 320, 326,
 365, 368, 385, 416, 581, 658, 661, 736
 Windbestäubung, Koniferen, 347
 Wirbeltierevolution, 349
 Witten, Edward, 78
 WMAP-Satellit, , 87
 Woit, Peter, 79
 Wolf Singer, Gedankenlesen, 550
 Wolf, 490
 Wolf, Konventionen von Bern, 413
 Wolfe Nathan, 697
 Wolfskinder, Angst vor Feuer, 634
 Wolfskinder, Bedürfnisse, natürliche, 635
 Wolfskinder, biologischer
 Entwicklungsstand, 636
 Wolfskinder, Essen, 634
 Wolfskinder, Fortbewegung, 637
 Wolfskinder, Gang, 633
 Wolfskinder, 633–639
 Woolhouse, Mark, pathologische
 Virenarten, 264
 Wortsprache, 590, 594
 Wortsprache, Neandertaler, 600
 Wortsprache, Phoneme, 590
 Wortsprache, Syntax, 594, 598
 Wrangham, Richard, 449
 Wright, Sewall, 271
 Wunschkinder, Kreation, 720
 Wurmlöcher, Existenz, 212
 Wüste Utah, 109

 Xenotransplantationen, 726 f
 X-Strahlen, 144

 Yaghan, Patagonien, 584
 Yanomani, Amazonas-Indianer, 582–584
 Yellowstone-Nationalpark,
 Bakterienökologie, 316
 Yunnanzoon lividum, Wirbeltierahne, 326,
 345

 Zannuck, Darryl F., Fernsehprognose, 714
 Zebramanguste, Babysitten, 659
 Zebras, Resistenz gegen *Babesia equi*, 489
 Zeit und Gravitation, 211
 Zeitalter der Dunkelheit, 157
 Zeitalter entartender Sterne, 150
 Zeitalter leuchtender Sterne, 149
 Zeitreisen, 210 f
 Zeitrhythmus, Regulation, 308
 Zelle, Arbeitsteilung, 335
 Zelle, pluripotente, 724
 Zelle, totipotente, 724
 Zellerneuerung, Beispiele, 757
 Zellnekrose, 757
 Zelltypen, Mensch, 724
 Zellwände, 335
 Zettl, Alex, 208
 Zheng, Deyou, 280
 Zierfische, Aussetzung in Natur, 402
 Zimbardo, Philip, 672

Zimmer, Carl, 315
 Zivilisation, ausserirdische, 119
 Zivilisation, sichtbare Technologie, 209
 Zivilisationen, Radiowellen, 204
 Zollikofer, Christof, 445 f, 467
 Zone, bewohnbare, 119, 142, 144
 Zoogenetische Ressourcen, Konferenz, 380
 Zubrin, Robert, Marskolonialisierung, 198
 Zugvögel, Klimaerwerbung, 408
 Zukunftsperspektiven, 681
 Zukunftsperspektiven, Edward O. Wilson,
 735
 Zukunftsperspektiven, Edward O. Wilson,
 Hot Spots, 736
 Zukunftsperspektiven, IBM, 731
 Zweifüsslergang, Energie, 518
 Zwerggalaxien, 51, 113, 115
 Zwerggänse, Prägung, 356
 Zwischenhirn, 519
 Zyklisches Universum, 59
 Zystische Fibrose, 278
 Zytoplasma, 277