Big History (noch nicht fertig) Admininfo : war das nicht das buch wegen Cern ?

ZEIT BEGINNT W-STERNE-FORM ELEMENTE ENTWICKLUNG PLANETEN ERSCHEINEN Das Leben entwickelt sich Wissen baut auf Die Landwirtschaft beginnt INDUSTRIE ENTSTEHT MACQUARIE UNIVERSITÄT GROSSE GESCHICHTE INSTITUT SYDNEY • AUSTRALIEN

UNSERE UNGLAUBLICHE REISE, VOM GROSSEN BANG BIS JETZT

„BIC HISTORY BIETET EINEN RAHMEN, UM DIE GESCHICHTE IM BUCHSTÄBLICHEN VERSTÄNDNIS ZU VERSTEHEN, ÜBERHAUPT ..."
BILL CATES

- VORWORT
- WAS IST GROSSE GESCHICHTE?
- SCHWELLE 1
- Die Astronomie beginnt
- Die Erde kreist um die Sonne
- URSPRUNGSGESCHICHTEN
- EINE MODERNE ERZÄHLUNG
- Die Hubble-Konstante
- DIE HIMMELSSCHEIBE VON NEBRA
- DAS ATOM UND DAS UNIVERSUM
- DAS UNIVERSUM WIRD GRÖSSER
- SCHWELLE 2
- DAS ERWEITERENDE UNIVERSUM

- ZEITLINIEN DER URKNALL
- DAS PUZZLE DER SCHWERKRAFT
- SCHWELLE 3
- Den Urknall neu erschaffen
- ÜBER DEN URKNALL hinaus
- DIE ERSTEN STERNE
- DIE ERSTEN GALAXIEN
- HUBBLE EXTREM TIEFENFELD
- DER LEBENSZYKLUS EINES STERNS
- WIE NEUE ELEMENTE IN STERNEN BILDEN
- WENN RIESENSTERNE EXPLODIEREN
- Den Elementen einen Sinn geben
- SCHWELLE 4
- DIE PLANETEN FORM
- KONTINENTE DRIFT
- SCHWELLE 5
- Harte Beweise | DER IMILAC-METEORIT
- DIE SONNE ÜBERNIMMT DIE KONTROLLE
- ZEITPLAN | LEBENSGESCHICHTE
- WIE WIR SOLARSYSTEME FINDEN
- GROSSE IDEEN | GESCHICHTE DER EVOLUTION
- ERDE KÜHLT
- TIERE DRINGEN IN DAS LAND EIN
- Die Erde setzt sich in Schichten ab
- DIE ROLLE DES MONDES
- EVOLUTION VERWANDELT DAS LEBEN
- DIE KONTINENTE WERDEN GEBOREN
- DATIEREN SIE DIE ERDE
- Harte Beweise | ZIRKON-KRISTALL
- WIE SICH DIE ERDKRUSTE BEWEGT
- Harte Beweise | MEERESBODEN
- FORM DER ZUTATEN DES LEBENS
- SCHWELLE 6
- DER GENETISCHE CODE
- LEBEN BEGINNT

- WIE DAS LEBEN ENTWICKELT
- Es treten Mikroben auf
- Das Leben entdeckt das Sonnenlicht
- SAUERSTOFF FÜLLT DIE LUFT
- KOMPLEXE ZELLEN ENTWICKLUNG
- Ein größeres Gehirn wachsen lassen
- Sex vermischt Gene
- Zellen beginnen, Körper aufzubauen
- MÄNNER UND WEIBLICHE UNTERSCHIEDLICH
- TIERE BEKOMMEN EIN GEHIRN
- Das Leben der Tiere explodiert
- TIERE GEWINNEN EIN RÜCKGRAT
- Kiefer schaffen erstklassige Raubtiere
- PFLANZEN BEWEGEN SICH AN LAND
- DIE NEANDERTALER
- Harte Beweise | WENLOCK KALKSTEIN
- Den Flügel neu erfinden
- DIE ERSTEN SAMEN
- Es entstehen geschälte Eier
- WIE SICH DIE SPRACHE ENTWICKELT HAT
- WIE KOHLE ENTSTEHT
- Harte Beweise | EIDECHSE IN BERNSTEIN
- Das Land trocknet aus
- GROSSE IDEEN | Der Mensch wird dominant
- Reptilien diversifizieren sich
- VÖGEL FLIEGEN IN DIE LUFT
- Kontinente verschieben sich und das Leben spaltet sich
- DER PLANET BLÜHT
- PFLANZEN REKRUTIEREN INSEKTEN
- GRASLAND VORAUS
- GROSSE IDEEN | WIE WIR DAS LEBEN KLASSIFIZIEREN
- Harte Beweise | EISKERN
- Die Erde friert ein
- DIE PRIMATENFAMILIE
- ZEITPLAN | HOMININE ENTWICKELN SICH ENTWICKLUNG

- Affen beginnen aufrecht zu gehen
- Harte Beweise | Kebara Neandertaler
- Harte Beweise | ALTE DNA
- DER ERSTE HOMO SAPIENS
- Babys großziehen
- KOLLEKTIVES LERNEN
- Jäger und Sammler tauchen auf
- PALÄOLITHISCHE KUNST
- DIE ERFINDUNG DER KLEIDUNG
- ZEITPLAN | MENSCHEN GESTALTEN FEUER
- BEstattungspraktiken

VORWORT

Ich erinnere mich lebhaft an eine Globuskarte, die ich als Kind in einem Klassenzimmer liegen sah. Ich erinnere mich auch an einen Geographieunterricht an einer Schule in Somerset in England, in dem wir lernten, wie man Schnitte durch die Erde zeichnet, um die verschiedenen Bodenschichten unter unseren Füßen zu zeigen und wie sie mit anderen Teilen Englands verbunden sind. Für mich war das Aufregendste in der Schule immer die plötzliche Verbindung, bei der ich erkannte, dass die Kreideschichten unter unseren Füßen aus den Überresten von Milliarden winziger Organismen – sogenannten Coccolithophoren – bestehen, die vor Millionen von Jahren gelebt haben, und dass dies auch heute noch der Fall ist könnte auch in Kreideschichten in anderen Teilen Englands und anderen, viel weiter entfernten Ländern gefunden werden. Wie war Somerset, als die Coccolithophoren lebten? Wo war Somerset damals? Das ist eine Frage, die ich in meiner Schulzeit nicht einmal stellen konnte, weil die Wissenschaftler damals noch nicht sicher wussten, dass sich die Kontinente auf der Erdoberfläche bewegten.

Für mich war der Globus in der Ecke meines Klassenzimmers der Schlüssel zu all diesem Wissen. Es hat mir geholfen, den Ort Somerset in Großbritannien und Großbritannien in Europa zu erkennen – dort kamen also die Wikinger her! – und von Europa in der Welt. Big History ist wie der Globus, aber er ist viel größer: Er umfasst das gesamte beobachtbare Universum und die gesamte beobachtbare Zeit, sodass er 13,8 Milliarden Jahre in der Zeit zurückreicht, bis zum erstaunlichen Moment des Urknalls, als ein ganzes Universum kleiner war als ein Atom. „Big History" umfasst die Geschichte von Sternen und Galaxien, von neuen Elementen, von Kohlenstoff – dem magischen Molekül, das Leben ermöglichte – bis hin zu Uran, dessen Radioaktivität es uns nicht nur ermöglichte, Bomben zu bauen, sondern auch herauszufinden, wann unsere Erde entstand. Es ist wie eine Karte von Raum und Zeit. Und sobald Sie anfangen, diese Karte zu erkunden, werden Sie schließlich in der Lage sein zu sagen: „Das ist es also, wovon ich ein kleiner Teil bin! Das ist mein Platz im großen Ganzen der Dinge! Was kommt also als nächstes?"

Heutzutage unterrichten immer mehr Schulen und Universitäten Big History, und diese Geschichte müssen wir alle kennen. In dem Buch, das Sie in den Händen halten, finden Sie eine wunderschön illustrierte Darstellung dieser Geschichte, eine Art Globus in Wort und Bild, der Wissen aus vielen verschiedenen Disziplinen verknüpft. Big History zeigt, wie sich unsere Welt Schwelle für Schwelle entwickelte, von einem sehr einfachen frühen Universum über die Entstehung von Sternen und Chemie bis hin zu einem Kosmos, der Orte wie unsere Erde enthielt, auf denen das Leben selbst entstehen konnte.

Und Sie werden auch die seltsame Rolle sehen, die unsere eigene Spezies, der Mensch, in dieser großen Geschichte spielt. Wir erscheinen ganz am Ende der Geschichte, aber unser Einfluss war so enorm, dass wir beginnen, den Planeten zu verändern. Wir haben etwas anderes getan, das vielleicht noch erstaunlicher ist: Von unserem winzigen Standpunkt im riesigen Universum aus haben wir herausgefunden, wie dieses Universum entstand, wie es sich entwickelte und wie es zu dem wurde, was es heute ist. Das ist eine erstaunliche Leistung, und in diesem Buch werden Sie die Entdeckungen untersuchen, die es uns ermöglichten, diese Geschichte zusammenzusetzen. Dies ist die Weltkugel, die wir heute, zu Beginn des 21. Jahrhunderts, brauchen, wenn wir

versuchen, die enormen Herausforderungen zu bewältigen, die darin bestehen, unseren schönen Planeten zu erhalten und ihn für diejenigen, die nach uns kommen, in einem guten Zustand zu halten.

DAVID CHRISTIAN
GRÜNDER EINER GROßEN GESCHICHTE
DIREKTOR, BIG HISTORY INSTITUT
Mitbegründer des großen Geschichtsprojekts

View attachment 7638

> “ Big History bietet einen Rahmen für das Verständnis buchstäblich der gesamten Geschichte, vom Urknall bis zur Gegenwart. So oft werden naturwissenschaftliche und historische Fächer nacheinander unterrichtet – Physik in einer Klasse, der Aufstieg der Zivilisation in einer anderen –, aber Big History überwindet diese Barrieren. Wenn ich heute etwas Neues über Biologie, Geschichte oder ein anderes Fach lerne, versuche ich, es in den Rahmen zu integrieren, den ich von Big History erhalten habe. Kein anderer Kurs hatte einen so großen Einfluss darauf, wie ich über die Welt denke.
>
> BILL GATES, WWW.GATESNOTES.COM
> Mitbegründer des großen Geschichtsprojekts

WAS IST GROSSE GESCHICHTE?

GROSSE GESCHICHTE IST DIE GESCHICHTE VON WIE DU UND ICH ENTSTANDEN SIND.

Es ist eine moderne Ursprungsgeschichte für ein modernes Zeitalter. Dieses großartige Evolutionsepos weckt unsere Neugier, konfrontiert unsere tief verwurzelten Intuitionen und verbindet Wissenschaft, Vernunft und Empirismus mit lebendigem und dynamischem Geschichtenerzählen. Und das Beste daran ist, dass Big History den Umfang und die wissenschaftlichen Grundlagen bietet, die uns dabei helfen, über einige der aufregendsten und beständigsten Fragen über das Leben, das Universum und alles andere nachzudenken. Zu diesen allgemein zwingenden Fragen gehören: Wie hat sich das Leben auf der Erde entwickelt? Was macht den Menschen einzigartig? Sind wir allein im Universum? Warum sehen, denken und verhalten wir uns so, wie wir es tun? Und was hält die Zukunft für unsere Spezies, unseren Planeten und die Zukunft bereit? Kosmos? Werfen Sie an einem beliebigen Punkt in der Geschichte des Universums einen Pfeil und er landet auf einer Seite der Big History-Geschichte. Egal wie dunkel diese Seite ist oder wie weit sie von der Welt, die wir kennen, entfernt zu sein scheint, sie wird immer ein Fragment dieser großartigen wissenschaftlichen Erzählung beschreiben, in der alle Ereignisse und alle Kapitel miteinander verbunden sind. In diesem Band bereisen wir die Sterne, die Galaxien, die Zellen in Ihrem Körper und die komplexen Wechselwirkungen zwischen allen lebenden und nichtlebenden Dingen. Wir gehen bis an die Grenzen des menschlichen Verständnisses, um die Realität aus vielen Blickwinkeln und in vielen Maßstäben zu betrachten. Das wirklich Bemerkenswerte daran, die Welt aus einer so umfassenden Perspektive zu betrachten, ist, dass wir beginnen, uns mit vielen Facetten der natürlichen Welt auseinanderzusetzen, die wir oft übersehen oder für selbstverständlich halten. Wie oft denken wir darüber nach, dass jedes Atom in jedem unserer Körper wurden in einem sterbenden Stern geschaffen? Oder dass uralte Himmelsimplosionen die Art von Chemie hervorgebracht haben, die Leben ermöglicht? Wie oft verkleinern wir unsere historischen Betrachtungen weit genug, um Zusammenhänge zu erkennen, die über die Handlungen von Königen, Armeen, Politikern und Bauern hinausgehen?

WIE OFT MACHEN WIR Denken Sie darüber nach TATSACHE, DASS JEDER ATOM IN JEDEM UNSERER KÖRPER WAR HERGESTELLT IN A Sterbender Stern?

Unser Verstand folgt den Fäden unserer Evolutionsgeschichte nicht instinktiv bis zu dem Punkt, an dem alle nationalen, Stammes- und Artengrenzen verschwinden. Aber wenn wir uns erlauben, über diese Bereiche hinaus zu forschen, stoßen wir auf einen einzigen Stammbaum, der zeigt, dass jeder von uns mit jedem lebenden Organismus auf dem Planeten einen gemeinsamen Vorfahren hat: von Würmern über Fische bis hin zu Reptilien Schimpansen, zu einem Vogel, der am anderen Ende der Welt singt, und zu den Fremden, die seinen Refrain durchschlafen.

Big History hilft uns, alles, was wir sehen, und alles, was wir zu wissen glauben, in Frage zu stellen. Dabei entdecken wir, dass das Universum viel seltsamer ist, als wir es uns oft vorstellen, und dass

die Form der Geschichte von Kräften geprägt wird, die oft überraschend und mit dem Universum schwer zu erkennen sind bloßes Auge. Es ist auch wichtig, sich daran zu erinnern, dass Big History keine statische Geschichte ist, die verkündet, wie die Dinge für alle Zeiten sind und sein werden. Es handelt sich um eine vorläufige Erzählung, die ständig aktualisiert wird, während unser Wissen über die Natur wächst und sich unsere Bedürfnisse als Spezies weiterentwickeln. Aus kosmischer Sicht sehen wir, dass der Mensch eine neuartige Spezies ist, die erst sehr spät in dieser Evolutionsgeschichte auf der Bildfläche erscheint. Wir waren am Anfang noch nicht da, und wir sind mit ziemlicher Sicherheit nicht die Spezies, bei der das evolutionäre Problem aufhört. Dennoch ist „Big History" immer noch eine menschliche Geschichte, geschrieben von Menschen für Menschen. An einem bestimmten Punkt in dieser Geschichte konzentrieren wir uns auf unsere Spezies und unseren Teil der Galaxie, denn aus unserer Sicht liegt dort die Handlung und die Bedeutung. Im großen Raum-Zeit-Gefüge scheint die Menschheit kaum mehr als eine kosmische Fußnote zu sein. Aber wenn wir unseren blauen Planeten genau betrachten, erkennen wir, dass unsere Spezies für einige sehr bemerkenswerte Dinge verantwortlich ist, die keine andere Spezies in den drei bis vier Milliarden Jahren, in denen es Leben auf der Erde gibt, geschafft hat. Soweit wir wissen, ist Homo sapiens die erste und einzige Spezies, die das Universum repräsentiert, das sich seiner selbst bewusst wird. Der Mensch ist heute die dominierende Kraft, die die planetare Biosphäre verändert, und wir haben das Tempo der terrestrischen Evolution auf einen dramatischen neuen Gang gebracht.

Eine große Geschichte hilft uns, alles in Frage zu stellen Wir sehen und alles, was wir zu wissen glauben.

Wenn Sie diese bemerkenswerte Erzählung erkunden, werden Sie entdecken, dass unsere Spezies bei der Expansion und Kolonisierung des Globus so erfolgreich war, was zum großen Teil auf unsere Fähigkeit zu dem zurückzuführen ist, was große Historiker als kollektives Lernen bezeichnen. Obwohl wir nicht vermitteln können Da wir unser gesammeltes Wissen und unsere Erfahrungen über die DNA an neue Generationen weitergeben, haben wir die Mittel entwickelt, um diese Informationen kulturell weiterzugeben. Eine solch radikale Innovation im Informationsaustausch wurde durch die menschliche Erfindung der symbolischen Sprache ermöglicht.

Zunächst bedeutete dies, Ideen durch mündliche Überlieferung auszutauschen. Aber schließlich entwickelten wir die Schrift, die die Fehlerquote bei der Informationsübertragung verringerte und den Menschen ein Werkzeug bescherte, das einer einfachen externen Festplatte ähnelte. Zum ersten Mal konnten wir große Mengen an Informationen speichern, ohne die begrenzte Speicherkapazität unseres Gehirns nutzen zu müssen. Mit der Fähigkeit, über viele Generationen hinweg auf vorhandenen Informationen aufzubauen, lernten die Menschen immer schneller und Wissen und Innovation vermehrten sich. Während viele Zivilisationen zusammenbrachen und einige Entdeckungen jahrhundertelang verloren gingen, war der allgemeine Trend eine Rückkopplungsschleife des beschleunigten kulturellen Wandels: Die Erfindung immer schnellerer und genauerer Methoden des Informationsaustauschs löste schnelle Innovationsschübe aus und umgekehrt. Während die mündliche Überlieferung Zehntausende von Jahren bestand, dauerte es nur wenige hundert Jahre, bis der Mensch vom Zeitalter der Druckmaschine in die digitale Welt von heute überging. Wenn das Tempo der kulturellen Evolution in einem solchen Tempo anhält, könnten wir in nur wenigen Jahrzehnten die Entstehung eines neuen Evolutionsparadigmas erleben. Aufgrund unserer erstaunlichen Fähigkeit zum kollektiven Lernen und zur kulturellen Entwicklung hat der Mensch in relativ kurzer Zeit einen riesigen Evolutionssprung gemacht. Wir haben uns von

unserer anfänglichen Rolle als einer der vielen einfachen Akteure der Evolution zu einem jungen Regisseur entwickelt, der sich der Aufgabe widmet, den Verlauf der Evolution auf der Erde bewusst zu gestalten. Obwohl dies eine sehr spannende Rolle ist, bringt sie auch immense Herausforderungen mit sich.

MIT DER FÄHIGKEIT, AUF ZU BAUEN VORHANDENE INFORMATIONEN ÜBER VIELE Generationen, die Menschen haben gelernt IMMER SCHNELLER, UND WISSEN UND INNOVATION WURDE ZUGEHÖRT.

Es ist ernüchternd, auf unseren umfangreichen Stammbaum zurückzublicken und sich daran zu erinnern, dass 99 Prozent der Arten, die jemals gelebt haben, inzwischen ausgestorben sind. Vor diesem Hintergrund ist es natürlich und sinnvoll, darüber nachzudenken, ob unsere Spezies noch viele Jahre lang in der Lage sein wird, nachhaltig und wohlhabend zu leben. Und wenn wir das erreichen können, wie könnte das möglich sein? Werden wir unseren Energieverbrauch reduzieren und einfacher leben? Oder werden wir unsere immense kollektive Intelligenz nutzen, um ausgefeiltere Methoden zur Erzeugung sauberer Energie und nachhaltiger Produkte und Dienstleistungen zu entwickeln? Wird unser moderner Werden wir durch das technologische Wettrüsten befreit oder versklavt? Und wie lange werden die meisten von uns noch als vollständig biologische Wesen existieren, ohne technische Modifikationen? Dies sind die Fragen, die uns die Geschichte der „Big History" zum Nachdenken anregt. Es besteht kein Zweifel daran, dass „Big History" in Bezug auf Umfang, Inhalt und Methode eine wirklich moderne Geschichte ist, die den Bedürfnissen einer modernen Zeit gerecht wird. Wie alle Ursprungsgeschichten früherer Zeitalter soll diese Erzählung uns dabei helfen, uns darüber zu informieren, woher wir kommen, was wir sind und wohin wir gehen könnten. Aber im Gegensatz zu antiken Ursprungsgeschichten, die auf Mythen und Intuition basierten, stützt sich dieses Evolutionsepos auf die Theorien der modernen Wissenschaft, um uns zu helfen, die Welt um uns herum in den Griff zu bekommen. Für die meisten von uns ist es nicht selbstverständlich, an Dinge zu denken, die sehr groß, sehr klein und sehr alt sind. Aber große Ideen zu verfolgen und nach Antworten auf tiefgreifende, universelle Fragen zu suchen, schon! Wir können nicht anders, als zu wissen, was es sonst noch alles da draußen gibt: sei es zwischen den Sternen, im Inneren von Schwarzen Löchern oder in den mysteriösen Funktionen unseres Gehirns, unserer DNA oder den bemerkenswerten bakteriellen Ökosystemen, die auf, um und in uns leben.

GROSSE GESCHICHTE IST WIRKLICH MODERNE ORIGIN-GESCHICHTE, PASSEND FÜR DIE BEDÜRFNISSE EINES MODERNEN ZEITALTERS.

Die Big History-Geschichte erleichtert uns die Erkundung dieser und anderer spannender Bereiche. Es ermöglicht uns, uns auf eine Reihe von Themen und historischen Momenten zu konzentrieren und ermutigt uns, über die Natur der Realität auf vielen verschiedenen Ebenen nachzudenken. Wir lernen, die Details mit dem Gesamtbild in Beziehung zu setzen und beobachten, wie breite Trends lokale Phänomene und Ereignisse kontextualisieren können. Indem wir die Standpunkte sowohl des Generalisten als auch des Spezialisten erkunden, sind wir in der Lage, sorgfältiger und kreativer über Ursache und Wirkung nachzudenken und innovativere Antworten und Lösungen für die vielen Herausforderungen zu entwickeln, denen wir heute in der Welt gegenüberstehen. Die einheitliche Perspektive von Big History hilft uns auch, die Gegenwart dynamisch zu sehen, und zeigt uns, dass wir nicht nur die Nachfolger früherer evolutionärer Schwellenwerte sind, sondern auch die

möglichen Vorläufer zukünftiger. Unsere Geschichte ist in acht Schwellenwerte zunehmender Komplexität unterteilt, die einige der wichtigsten Übergangsphasen in dieser kosmischen Evolutionsgeschichte hervorheben. Während wir uns von Schwelle zu Schwelle bewegen, werden Sie sehen, wie tief jede Stufe miteinander verbunden ist und wie Materie und Information im Universum immer dichter werden komplex in verschiedenen Bereichen der kosmischen Ordnung. Diese Geschichte hilft uns zu erkennen, dass unser Planet und unsere Spezies unter seltenen Goldlöckchen-Bedingungen entstanden sind, in denen das Gleichgewicht und die Stabilität der Elemente „genau richtig" waren, um Leben zu erhalten. Sobald Sie dieses Buch durchgelesen haben und ein Gefühl für das Gesamtbild bekommen, das es darstellt, hoffen wir, dass Sie viele neue und mitreißende Fragen im Kopf haben werden. Während Sie sitzen und bereit sind, sich auf diese Entdeckungsreise zu begeben, gibt es eine Frage, die Sie hoffentlich berücksichtigen werden. Welche Rolle werden Sie dabei spielen, wie sich die Ereignisse an der nächsten Schwelle dieses großen kosmischen Dramas entwickeln?

> “ UNTER DEM FANTASTISCHEN VIELFALT UND KOMPLEXITÄT VON MODERNES WISSEN DA Ist eine zugrunde liegende Einheit und KOHÄRENZ, DIE SICHERSTELLEN WIRKLICH UNTERSCHIEDLICHE ZEITEN HABEN SIE ETWAS ZU SAGEN ZUEINANDER.
>
> DAVID CHRISTIAN, Großer Historiker

SCHWELLE 1

THE BIG **BANG**
Was sind die Ursprünge unseres Universums? Es ist eine Frage, die die Menschen wahrscheinlich fasziniert, seit wir als Spezies entstanden sind und versucht haben, unseren Platz in der Natur zu verstehen. Jahrhundertelange Beobachtungen, Untersuchungen und wissenschaftliche Bemühungen haben uns zur Urknalltheorie geführt – aber auch diese lässt Fragen offen und unsere Suche nach weiteren Erklärungen geht weiter.

GOLDILOCKS-BEDINGUNGEN
Das Universum entstand im Urknall. Wir wissen nicht, ob vorher irgendetwas existiert hat, und wir haben nur einen flüchtigen Blick auf das, was im Bruchteil einer Sekunde unmittelbar danach geschah. Doch im Laufe der nächsten 380.000 Jahre dehnte sich das Universum aus und kühlte ab, und es entstanden die grundlegenden Kräfte und Formen der Materie, die wir heute kennen.
Was hat sich geändert? Plötzlich entstanden im Urknall Raum, Zeit, Energie und Materie.

Vor dem Urknall Wir wissen nicht, was vor dem Urknall existierte. Es könnte sein, dass nichts passiert ist. Aber es gibt auch andere Möglichkeiten. Eine alternative Theorie schlägt beispielsweise ein Multiversum vor – ein riesiges Reich, aus dem immer wieder Universen auftauchen.

View attachment 7640

Die Astronomie beginnt

Während des größten Teils der Menschheitsgeschichte waren die Menschen zu sehr mit dem Überleben beschäftigt, um viel Zeit damit zu verbringen, über die zugrunde liegende Natur und den Ursprung der Welt nachzudenken. Aber ab etwa 1000 v. Chr. begannen einige, Schlüsselfragen zum Universum zu beantworten, ohne auf übernatürliche Erklärungen zurückzugreifen.

View attachment 7646Diese Denker, die sich ursprünglich auf die Mittelmeerländer, insbesondere Griechenland, konzentrierten, erkannten, dass es zum Verständnis der Welt notwendig ist, ihre Natur zu kennen, und dass es für Naturphänomene logische Erklärungen geben muss. Obwohl sie nicht immer die richtigen Antworten fanden, markierte dieser Sprung den Beginn einer 3.000-jährigen Reise, die in der modernen Welt zu Schlüsseltheorien wie dem Urknallmodell des Universums geführt hat.

DIE NATUR DER MATERIE

Die grundlegenden Fragen, woraus die Welt besteht und woher die Materie kommt, gehören zu den ältesten. Im 6. Jahrhundert v. Chr. schlugen griechische Philosophen wie Thales und Anaximenes vor, dass alle Substanzen Modifikationen intrinsischerer Substanzen seien, wobei die Hauptkandidaten Wasser, Luft, Erde und Feuer seien. Im 5. Jahrhundert v. Chr. behauptete Empedokles, dass alles eine Mischung aller vier dieser Substanzen oder Elemente sei. Sein fast zeitgenössischer Demokrit entwickelte die Idee, dass das Universum aus einer unendlichen Anzahl unteilbarer Teilchen besteht, die Atome genannt werden. Schließlich fügte der einflussreiche Gelehrte Aristoteles im 4. Jahrhundert v. Chr. den vier Elementen des Empedokles ein fünftes Element, den Äther, hinzu. Obwohl Aristoteles der Idee von Atomen skeptisch gegenüberstand, ist es bemerkenswert, dass die Konzepte sowohl von Atomen als auch von Elementen bereits mehr als 2.000 Jahre vor dem Nachweis ihrer Existenz vorgeschlagen wurden.

Sonnenstrahlen
Turm in Alexandria
Höhe des Turms
Länge des Schattens
Der Winkel im Erdmittelpunkt ist gleich dem Winkel, in dem der Schatten in Alexandria geworfen wird
Mittelpunkt der Erde

View attachment 7647
Der Schatten des Turms

800 km (500 Meilen) von Alexandria nach Syene

Nun, bei Syene

◀ Schätzung des Erdumfangs Als die Sonne über einem Brunnen in Syene stand, warf sie in

Alexandria einen Schatten in einem Winkel von etwa 7°. Die Division dieses Winkels durch 360° und die anschließende Multiplikation des Ergebnisses mit der Entfernung zwischen den beiden Orten ergab eine Schätzung des Erdumfangs von etwa 40.000 km (25.000 Meilen).

FORM UND GRÖSSE DER ERDE

Zu den vielen anderen Ideen, zu denen Aristoteles seine Ansichten äußerte, gehörte das Konzept, dass die Erde eine Kugel sei. Frühere griechische Gelehrte wie Pythagoras hatten dies bereits argumentiert, aber Aristoteles war der Erste, der die wichtigsten Beweispunkte zusammenfasste. Die wichtigste davon war, dass Reisende in südliche Länder Sterne sehen konnten, die von weiter nördlich lebenden Menschen nicht gesehen werden konnten – was nur durch die Krümmung der Erdoberfläche erklärbar ist. Im Jahr 240 v. Chr. konnte der Mathematiker Eratosthenes den Erdumfang abschätzen, indem er verglich, wie die Sonnenstrahlen die Erde in Syene und Alexandria erreichen. Er kam auf eine Zahl von etwa 40.000 km (25.000 Meilen) – nahe am wahren Wert, der heute bekannt ist.

▲ Erdzentriertes Universum Diese Illustration aus dem 17. Jahrhundert von Andreas Cellarius zeigt das Modell von Aristoteles und Ptolemäus. Vom Zentrum aus bewegen sich Mond, Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter, Saturn und die Sterne auf Kreisbahnen um die Erde.

Die Idee, dass die Erde flach ist War immer noch das vorherrschende BLICK IN CHINA BIS ZUM FRÜHES 17. JAHRHUNDERT

ERDE UND DIE SONNE

Aristoteles glaubte, dass die Erde im Zentrum des Universums liege und dass sich die Sonne, Planeten und Sterne um sie herum bewegen. Dies schien ein gesunder Menschenverstand zu sein, wenn man bedenkt, dass jede Nacht verschiedene Himmelsobjekte (und tagsüber die Sonne) beobachtet werden konnten, wie sie sich von Osten nach Westen über den Himmel bewegten, während sich die Erde selbst scheinbar nicht bewegte. Eine alternative Ansicht des Astronomen Aristarch war, dass die Sonne im Mittelpunkt stehe und die Erde sie umkreise, doch diese Idee fand keine große Glaubwürdigkeit. Im Jahr 150 n. Chr. veröffentlichte Claudius Ptolemäus – ein bedeutender griechischer Gelehrter, der in Alexandria lebte – ein Buch namens Almagest, das bestätigte die vorherrschende Ansicht, dass die Erde im Mittelpunkt steht. Das detaillierte Modell des Ptolemäus entsprach allen bekannten Beobachtungen, enthielt jedoch zu diesem Zweck komplexe Modifikationen der ursprünglichen Ideen des Aristoteles. Etwa in den nächsten 14 Jahrhunderten dominierte die erdzentrierte Sichtweise von Aristoteles und Ptolemäus die astronomische Theorie völlig und wurde vom mittelalterlichen Christentum in ganz Europa übernommen. In dieser Zeit arbeiteten islamische Astronomen wie Ulugh Beg (der von einem großen Observatorium in Samarkand aus arbeitete). (heute Usbekistan, im 15. Jahrhundert) leistete wichtige Beiträge zur Kenntnis des Sonnensystems und insbesondere zur Katalogisierung der Sternpositionen.

View attachment 7648

View attachment 7649

EIN STATIONÄRER ODER A SPINNENDE ERDE?

Im Zusammenhang mit der Frage, was sich im Zentrum des Universums befindet, wurde etwa 2.000 Jahre lang bis zum 17. Jahrhundert n. Chr. über die Frage diskutiert, ob sich die Erde dreht oder nicht. Die vorherrschende Meinung war, dass sich die Erde nicht dreht, da dies am besten zur Idee eines erdzentrierten Universums passte. Es gab jedoch Gegner dieser Ansicht, darunter der griechische Philosoph und Astronom Heraklides Ponticus im 4. Jahrhundert v. Chr. sowie ein indischer Astronom, Aryabhata, und persische Astronomen (Al-Sijzi und Al-Biruni) zwischen dem 5. und 15. Jahrhundert n. Chr . Alle schlugen vor, dass sich die Erde dreht und dass die scheinbare Bewegung der Sterne nur eine relative Bewegung ist, die durch die Drehung der Erde verursacht wird. Aber erst mit der kopernikanischen Revolution (siehe S. 24–25) wurde die Erdrotation als Tatsache akzeptiert und erst im 19. Jahrhundert kategorisch bewiesen.

DIE GRÖSSE UND DAS ALTER DES UNIVERSUMS

Ein letztes beliebtes Spekulationsthema unter frühen Philosophen war die Frage, ob das Universum endlich (begrenzt) oder unendlich ist, sowohl in der Ausdehnung als auch in der Zeit. Aristoteles schlug vor, dass das Universum zeitlich unendlich ist (es hat also immer existiert), aber in seiner Ausdehnung endlich ist – er glaubte, dass sich alle Sterne in einem festen Abstand befanden, eingebettet in eine Kristallkugel, jenseits derer es nichts gab. Der Mathematiker Archimedes machte eine begründete Schätzung der Entfernung zu den Fixsternen und erkannte, dass sie riesig war (zumindest das, was wir heute als zwei Lichtjahre bezeichnen würden), schreckte aber davor zurück, sie als unendlich zu bezeichnen. Im 6. Jahrhundert n. Chr. widersetzte sich der ägyptische Philosoph Johannes Philoponus der vorherrschenden aristotelischen Ansicht, indem er argumentierte, dass das Universum zeitlich endlich sei. Erst im 20. Jahrhundert begannen Wissenschaftler, Antworten auf diese Fragen zu finden.

View attachment 7650

▲ Ulugh Beg Bei seiner Arbeit an seinem Observatorium in Samarkand bestimmten Ulugh Beg und andere Astronomen Dinge wie die Neigung der Erddrehachse und einen genauen Wert für die Länge des Jahres.

> “ IN POSITION LIEGT DIE ERDE IN DER MITTE DES HIMMELS SEHR WIE SEIN ZENTRUM.
>
> Claudius Ptolemäus, Astronom und Geograph, 90–168 n. Chr

Die Erde kreist um die Sonne

Für die Menschen im mittelalterlichen Europa bis zur Mitte des 16. Jahrhunderts wurde die Frage, wie das Universum organisiert ist, Jahrhunderte zuvor von Ptolemäus in seinen Modifikationen der erstmals von Aristoteles vertretenen Ideen beantwortet (siehe S. 22–23). Laut Ptolemäus stand die Erde im Zentrum des Universums still. Sterne wurden „fixiert" oder eingebettet in einer unsichtbaren, entfernten Kugel, die sich schnell, ungefähr täglich, um die Erde drehte. Sonne, Mond und Planeten kreisten ebenfalls um die Erde und waren mit anderen unsichtbaren Sphären verbunden. Für die meisten Menschen schien diese Erklärung vernünftig – schließlich schien es, als ob die Erde nachts in den Himmel blickte, ganz still zu sein, während alle anderen Objekte am Himmel, einschließlich der Sonne und der Sterne, im Osten aufstiegen und sich bewegten über den Himmel und dann unter den westlichen Horizont.

Im 16. und frühen 17. Jahrhundert wurde die vorherrschende Ansicht eines erdzentrierten oder geozentrischen Universums, wie sie erstmals von den griechischen Gelehrten Aristoteles und Ptolemäus vertreten wurde, durch ein einfacheres sonnenzentriertes, heliozentrisches Modell in Frage gestellt. Diese einzelne Idee führte schließlich zur wissenschaftlichen Revolution, einer völlig neuen Art, über das Universum nachzudenken.

Zweifel am Geozentrismus

Das geozentrische Modell des Universums stellte jedoch nicht alle zufrieden. Ein ernsthafter Zweifel konzentrierte sich auf die Vorhersagen über die Planeten. Nach der ursprünglichen aristotelischen Version des Geozentrismus drehten sich die Planeten in perfekten Kreisen um die Erde, jeder mit seiner eigenen gleichmäßigen Geschwindigkeit. Aber wenn das stimmte, müssten sich die Planeten mit gleichbleibender Geschwindigkeit und Helligkeit über den Himmel bewegen, weil sie immer den gleichen Abstand von der Erde hatten – und das war nicht das, was beobachtet wurde. Einige Planeten, wie zum Beispiel der Mars, schwankten im Laufe der Zeit stark in ihrer Helligkeit, und wenn man ihre Bewegungen mit denen der äußeren Sphäre von Fixsternen vergleicht, änderten die Planeten manchmal ihre Richtung – ein Verhalten, das als rückläufige Bewegung bezeichnet wird. Um diese Probleme zu lösen, hatte Ptolemaios das aristotelische Modell modifiziert. Beispielsweise ließ er Planeten nicht an den Kugeln selbst befestigen, sondern an Kreisen, sogenannten Epizykeln, die an den Kugeln befestigt waren. Für einige Astronomen sahen diese Modifikationen wie „Korrekturen" aus, um das Modell an Beobachtungsdaten anzupassen. Von Zeit zu Zeit schlugen sie alternative Ideen vor, beispielsweise dass die Erde die Sonne umkreist. Aber Anhänger des Geozentrismus hatten einen scheinbar guten Grund, dies auszuschließen. Sie argumentierten, wenn sich die Erde bewege, müsste man sehen, wie sich die Sterne im Laufe eines Jahres ein wenig relativ zueinander verschieben – aber solche Verschiebungen konnten nicht festgestellt werden, und so antworteten sie: „Die Erde kann sich nicht bewegen."

View attachment 7651

▼ Das Sonnensystem im Miniaturformat Dieses Modell des Sonnensystems, Armillarsphäre genannt, ist eine kopernikanische Version und zeigt die Sonne im Zentrum und die um sie

kreisenden Planeten.

> “Ich denke, dass in der Diskussion natürlich PROBLEME, MIT DENEN WIR NICHT ANFANGEN SOLLTEN SCHRIFTSTELLEN, ABER MIT EXPERIMENTEN UND VORFÜHRUNGEN.
>
> Galileo Galilei, Astronom, 1564–1642

Das kopernikanische Modell

Angesichts dieser Argumente – und der Macht der katholischen Kirche, die die etablierte Sichtweise unterstützte – gab es jahrhundertelang kaum Widerstand gegen die Idee eines geozentrischen Universums. Um 1545 begannen jedoch in Europa Gerüchte zu kursieren, dass in einem Buch eine neue und überzeugende Herausforderung – in Form einer sonnenzentrierten Theorie des Universums – aufgetaucht sei. De Revolutionibus Orbium Coelestium („Über die Revolutionen der Himmelssphären"), von einem polnischen Gelehrten, Nicolaus Copernicus. Kopernikus stützte seine Theorie auf mehrere Annahmen. Das erste war, dass sich die Erde um ihre Achse dreht, und diese Rotation ist für den Großteil der täglichen Bewegung der Sterne, Planeten, des Mondes und der Sonne am Himmel verantwortlich. Kopernikus hielt es für unvorstellbar, dass Tausende von Sternen schnell um die Erde rotieren. Stattdessen schlug er vor, dass ihre scheinbare Bewegung eine durch die Erddrehung verursachte Illusion sei. Den Einwand, dass dadurch katastrophale Winde entstehen würden, wies er zurück und wies darauf hin, dass die Erdatmosphäre Teil des Planeten und damit Teil der Bewegung sei. Die Kernannahme von Kopernikus war, dass sich die Sonne und nicht die Erde im oder nahe dem Zentrum des Universums befindet und dass die Planeten – einschließlich der Erde, die nur ein weiterer Planet ist – die Sonne mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten umkreisen. Dieses System könnte auf einfachere Weise die Bewegungen und Helligkeitsschwankungen der Planeten erklären, ohne auf irgendwelche „Fixes" des Ptolemäus zurückzugreifen. Eine dritte wichtige Annahme war, dass die Sterne viel weiter von der Erde und der Sonne entfernt sind als bisher angenommen. Dies erklärte, warum die relativen Positionen der Sterne, von der Erde aus gesehen, im Laufe eines Jahres scheinbar unverändert blieben.

DIE THEORIE ENTWICKELT

De Revolutionibus wurde veröffentlicht, als Kopernikus starb, und es dauerte ein Jahrhundert oder länger, bis seine Theorie breite Akzeptanz fand. Ein Problem bestand darin, dass sein Modell falsche Vorstellungen enthielt, die von späteren Astronomen korrigiert werden mussten. Kopernikus hielt an der Vorstellung fest, dass alle Bewegungen der Himmelskörper mit den in unsichtbaren Sphären eingebetteten Objekten stattfinden. Im Jahr 1576 schlug der englische Astronom Thomas Digges vor, das kopernikanische System zu modifizieren, indem er die äußerste Kugel, in die Sterne eingebettet sind, entfernte und sie durch einen sternengefüllten, ungebundenen Raum ersetzte. In den 1580er Jahren verbannte der dänische Astronom Tycho Brahe den Rest der Sphären zugunsten der Planeten sich frei in Umlaufbahnen bewegen. Brahe hatte Kometen beobachtet, die offenbar durch die Sphären zogen, was ihn davon überzeugte, dass sie tatsächlich nicht existierten. Er beobachtete auch eine Supernova und widersprach damit der lange gehegten Vorstellung, dass am Himmel keine Veränderung stattfindet. Ein weiterer Mangel in der Theorie von Kopernikus war seine Überzeugung, dass sich alle Himmelsobjekte im Kreis

bewegen müssten, was ihn dazu zwang, einige der „Fixes" des Ptolemäus beizubehalten. Doch in den 1620er Jahren zeigte die Arbeit des deutschen Astronomen Johannes Kepler, dass Umlaufbahnen elliptisch und nicht kreisförmig sind. Durch die Entfernung der meisten verbleibenden „Korrekturen" wurde das heliozentrische Modell vereinfacht und verbessert. Im späten 17. Jahrhundert erweiterte Isaac Newton Keplers Werk und konnte mit seinen Bewegungsgesetzen und der neu eingeführten Schwerkraft (siehe S. 46–47) genau erklären, warum sich Himmelsobjekte auf diese Weise bewegen. Sein Werk Principia beseitigte wirksam die letzten Zweifel am Heliozentrismus. Diese Verbesserungen der kopernikanischen Theorie fanden vor dem Hintergrund anderer wichtiger Fortschritte in der Kosmologie statt. Im frühen 17. Jahrhundert trug die Entwicklung von Teleskopen dazu bei, festzustellen, dass Sterne weitaus weiter entfernt sind als Planeten und in großer Zahl existieren. Es wurde sogar vermutet, dass das Universum unendlich sein könnte. Kepler wies jedoch darauf hin, dass es nicht unendlich, statisch und ewig sein kann, da der Nachthimmel sonst gleichmäßig hell aussehen würde, weil es einen Stern gibt, der aus allen Richtungen Licht aussendet.

> “ IN RUHE JEDOCH IN IN DER MITTE VON ALLEM IST DIE SONNE.
>
> Nicolaus Copernicus, Astronom und Mathematiker, 1473–1543

REAKTION DER KIRCHE

Im Jahr 1616 verbot die römisch-katholische Kirche De Revolutionibus – ein Verbot, das mehr als 200 Jahre lang durchgesetzt wurde. Dies geschah wahrscheinlich als Folge eines Streits zwischen der Kirche und dem Astronomen Galileo Galilei, einem Verfechter der kopernikanischen Theorie, der Entdeckungen gemacht hatte, die den Heliozentrismus stützten. Insbesondere hatte Galilei um 1610 Monde entdeckt, die den Jupiter umkreisen, und damit bewiesen, dass einige Himmelsobjekte die Erde nicht umkreisen. Der Streit mit Galilei führte dazu, dass De Revolutionibus von der Kirche einer intensiven Prüfung unterzogen wurde, und weil einige seiner Ideen im Widerspruch zu biblischen Aussagen zu stehen schienen, wurde es verboten. Im Jahr 1633 wurde schließlich Galilei selbst vor Gericht gestellt und gezwungen, seine Ansichten zu widerrufen.

GALILEI NAMENS JUPITER MONDE, DIE MEDIZINISCHEN STERNE NACH DER MEDICI-FAMILIE

DIE WISSENSCHAFTLICHE REVOLUTION

Von der katholischen Kirche verboten und von Astronomen zunächst ambivalent betrachtet, brauchte es Zeit, bis sich die kopernikanische Theorie durchsetzte. Es vergingen mehr als 150 Jahre, bis sich herausstellte, dass einige seiner Grundannahmen unbestritten wahr waren. Das Wichtige an der Theorie war jedoch, dass sie die Kosmologie als Wissenschaft etablierte und einen schweren Schlag gegen einige alte, traditionelle Vorstellungen über die Funktionsweise des Universums darstellte, von denen viele auf Aristoteles zurückgingen. Daher wird es oft als der Beginn der wissenschaftlichen Revolution angesehen – einer Reihe von Fortschritten zwischen dem 16. und 18. Jahrhundert, die die Ansichten über Natur und Gesellschaft in der frühen Neuzeit veränderten.

View attachment 7652

View attachment 7653

View attachment 7654

View attachment 7655

View attachment 7656

View attachment 7657

URSPRUNGSGESCHICHTEN

Nahezu alle menschlichen Kulturen und religiösen Traditionen haben Ursprungsgeschichten gepflegt – symbolische Berichte, die beschreiben, wie die Welt entstanden ist. Diese Geschichten oder Erzählungen wurden meist in Form von Volksmärchen oder Balladen und manchmal auch schriftlich oder in Bildern von einer Generation zur nächsten weitergegeben.

Die Ursprungsgeschichten sind im Detail äußerst vielfältig, neigen jedoch dazu, einige gemeinsame Themen zu beinhalten. Oft erzählen sie, wie das Universum aus einem ursprünglichen Zustand der Dunkelheit oder des tiefen Chaos Ordnung erlangte. In mehreren Versionen, darunter auch im Buch Genesis des Alten Testaments, wird diese Ordnung von einem höchsten Wesen oder einer höchsten Gottheit auferlegt. In manchen Geschichten ist die Schöpfung ein zyklischer Prozess. Beispielsweise wird im hinduistischen Denken Ordnung geschaffen, nur um zerstört und dann wiederhergestellt zu werden. Viele Geschichten beginnen mit der Erde. In einigen tauchen Menschen und Götter aus der Erde auf. In anderen Fällen taucht ein Tier in einen grenzenlosen Urozean ein und holt einen Teil der Erde zurück, aus dem der Kosmos entsteht.

URSPRÜNGE DES HIMMELS, DER SONNE, UND MOND

Viele Entstehungsgeschichten beschreiben, wie der Himmel zusammen mit der Erde entstand, oft durch Abspaltung von einem anderen Urobjekt. In einer gängigen Form des Māori-Schöpfungsmythos wird das Universum von einem höchsten Wesen, Io, aus dem Nichts erschaffen. Er schafft auch Ranginui (Rangi) und Papatuanuku (Papa), der Himmelsvater und die Erdmutter. Rangi und Papa bleiben körperlich verbunden, bis sie von ihren sechs Nachkommen auseinandergedrückt werden, um die getrennten Bereiche Erde und Himmel zu erschaffen. Viele Geschichten befassen sich auch mit der Entstehung von Himmelskörpern wie Sonne und Mond. Beispielsweise schlüpft in einer Geschichte aus China das erste Lebewesen, Pangu, aus einem kosmischen Ei. Unter ihm liegt die halbe Hülle wie die Erde; der Rest wölbt sich über ihm wie der Himmel. Tausende von Jahren lang wächst er jeden Tag und drückt Erde und Himmel nach und nach auseinander, bis sie ihren richtigen Platz erreichen. Doch dann zerfällt Pangu. Seine Arme und Beine werden zu Bergen, sein Atem zum Wind, seine Augen verwandeln sich in Sonne und Mond.

> “Wir haben von uns geerbt VORVÄTER DIE GROßE SEHNSUCHT FÜR EINE EINHEITLICHE, ALLUMFASENDE WISSEN.
>
> Erwin Schrödinger, österreichischer theoretischer Physiker, 1887–1961

MEHR ALS 100 UNTERSCHIEDLICHE ORIGIN-GESCHICHTEN WAREN AUS VERSCHIEDENEN IDENTIFIZIERT VÖLKER UND KULTUREN WELTWEIT

Himmelsobjekte entstehen oft als physische Darstellungen von Göttern. Beispielsweise beginnt eine Ursprungsgeschichte aus dem alten Ägypten mit Nun, dem Urmeer, aus dem der Gott Amen entspringt. Er nimmt den alternativen Namen Re an und züchtet weitere Götter. Während seine Tränen zur Menschheit werden, zieht sich Amen-Re in den Himmel zurück, um auf ewig als Sonne zu regieren. Ursprungsgeschichten wie diese entstanden, weil die frühen Menschen eine Erklärung

für ihre eigene Existenz und für alles, was sie um sich herum sahen, finden mussten. Die Kulturen, die diese Geschichten förderten, hielten sie für wahr und für ihre Anhänger hatten sie meist große Bedeutung und emotionale Kraft. Aber solche Wahrnehmungen beruhten auf Glauben und nicht auf genauen Beobachtungen oder wissenschaftlichen Überlegungen.

Die frühesten Astronomen

Zu Zeitpunkten in der Geschichte, die je nach Kultur unterschiedlich sind, typischerweise jedoch ab etwa 4000 v. Chr. in Europa und im Nahen Osten, scheinen die Menschen es satt zu haben, Objekte wie die Sterne, die Sonne usw. nur anzuschauen und sich Geschichten darüber auszudenken Mond. Stattdessen begannen einige Personen, detaillierte Aufzeichnungen von Himmelsphänomenen anzufertigen. Diese Untersuchungen wurden aus verschiedenen, meist praktischen Gründen durchgeführt. Die Fähigkeit, einige Sterne zu identifizieren und Himmelsbewegungen zu verstehen, erwies sich für die Navigation als nützlich.

ASTRONOMEN IN CHINA AUFGEZEICHNETE BEOBACHTUNGEN VON MEHR ALS 1.600 SOLAR Finsternisse aus dem Jahr 750 v. Chr WEITER

Im alten Ägypten beispielsweise kündigte der Aufgang des hellen Sterns Sirius etwa zur gleichen Zeit wie die Sonne die jährliche Überschwemmung des Nils an. Ein letzter Grund für die Erforschung des Himmels war die Vorhersage von Sonnenfinsternissen. Es wird angenommen, dass chinesische Astronomen dies bereits 2500 v. Chr. versucht haben, aber erst im 1. Jahrhundert v. Chr. erreichten die alten Griechen das Niveau der astronomischen Raffinesse, das für eine genaue Durchführung erforderlich war. Eine erfolgreiche Vorhersage einer Sonnenfinsternis hatte kaum konkreten praktischen Nutzen, verlieh dem Prädiktor jedoch sehr bedeutende mystische Kräfte und infolgedessen beträchtlichen Respekt unter Gleichaltrigen. In einigen frühen Kulturen hatte genaue Beobachtung nicht nur praktischen Nutzen, sondern war auch mit der Religion verknüpft. Einige der raffiniertesten Beobachtungen vor der Erfindung des Teleskops wurden von den Maya gemacht, die zwischen 250 und 900 n. Chr. Teile Mittelamerikas besiedelten. Sie führten genaue Berechnungen der Länge des Sonnenjahres durch, erstellten genaue Tabellen der Positionen von Venus und Mond und konnten Finsternisse vorhersagen. Sie nutzten ihren Kalender, um die Aussaat und Ernte der Feldfrüchte zeitlich festzulegen. Sie sahen aber auch einen Zusammenhang zwischen den von ihnen beobachteten Zyklen und der Stellung ihrer Götter in der natürlichen Ordnung. Bestimmte Ereignisse am Nachthimmel wurden als Darstellung bestimmter Gottheiten angesehen. Die Maya praktizierten auch eine Form der Astrologie und stellten eine Verbindung zwischen den Zyklen am Himmel und dem Alltagsleben und den Sorgen des Einzelnen her.

EINE MODERNE ERZÄHLUNG

View attachment 7641

Big History ist eine moderne Ursprungsgeschichte. Ein Teil dieser Geschichte ist ein Bericht über die Entstehung des Universums, bereitgestellt durch die Urknalltheorie der Kosmologie. Die Theorie beschreibt die Entstehung eines Universums mit einem Anfang und einer Struktur. Die moderne Kosmologie als Ganzes enthält auch einen Bericht über ein Universum, das sich im Laufe der Zeit verändert, wenn Materie und Energie unterschiedliche Formen annehmen, neue Teilchen entstehen, der Raum selbst sich ausdehnt und Strukturen wie Sterne und Galaxien entstehen. Die Urknalltheorie als Teil der Big History-Erzählung weist einige andere Gemeinsamkeiten mit traditionellen Ursprungsgeschichten auf. Gemeinsam mit mehreren Geschichten wird darin zum Beispiel die These aufgestellt, dass alles – alle Materie, Energie, Raum und Zeit – aus dem Nichts entstanden sei. Die Urknalltheorie und die traditionellen Geschichten versuchen auch, viele der gleichen Fragen zu beantworten – unter anderem: Wie entstand das Universum? Die Theorie gibt keinen vollständigen Überblick darüber, wie das Universum zu dem wurde, was es jetzt ist. Es erklärt beispielsweise nicht den Ursprung des Lebens oder die Evolution des Menschen. Aber es ist Teil des größeren Rahmens von Big History, der versucht, diese und andere Fragen zu beantworten. Allerdings unterscheidet sich die Urknalltheorie, wie auch die Urknalltheorie im Allgemeinen, in einem entscheidenden Punkt von traditionellen Entstehungsgeschichten dadurch, dass sie versucht, eine wörtliche und genaue Darstellung der Ursprünge des Universums zu liefern. Es stellt den aktuellen Stand des wissenschaftlichen Denkens dar, der nach vielen Jahrhunderten allmählicher Veränderungen und plötzlicher Fortschritte erreicht wurde. Wie andere wissenschaftliche Theorien in Big History macht auch die Theorie Vorhersagen, die anhand von Beweisen überprüft werden können, sodass sie verfeinert oder sogar widerlegt und aufgehoben werden können. Einige Fragen bleiben durch die Urknalltheorie unbeantwortet. Aber zumindest im Moment bietet es den überzeugendsten Bericht darüber, wann und wie das Universum begann.

Brahma, der Schöpfer Einigen älteren Formen des Hinduismus zufolge wurde der Gott Brahma, der normalerweise mit vier Köpfen dargestellt wird, aus einem goldenen Ei geboren und erschuf die Erde und alles darauf.

> “ES GIBT KEINE NICHT-EXISTENZ NOCH EXISTENZ DANN; ES GAB WEDER DAS REICH DES RAUMS NOCH DER HIMMEL, DER JENSEITS LIEGT
>
> Der Rig Veda, eine Sammlung von Sanskrit-Hymnen, 2. Jahrtausend v. Chr

Die Hubble-Konstante

View attachment 7670

View attachment 7672

DIE HIMMELSSCHEIBE VON NEBRA

Während der europäischen Bronzezeit entwickelten die Menschen ihr astronomisches Wissen und setzten es praktisch um. Die Himmelsscheibe von Nebra ist zu dieser Zeit ein wichtiges Beweisstück für die Beobachtung des Himmels. Die Analyse der Materialien der Scheibe gibt auch Aufschluss über die Metallverarbeitung und den Handel.

Die Bronzezeit in Europa begann um 3200 v. Chr. Die 3.600 Jahre alte Himmelsscheibe von Nebra wurde 1999 in der Nähe von Nebra in Mitteldeutschland ausgegraben und zeigt die Sonne, den Mond und 32 Sterne, darunter möglicherweise den Sternhaufen der Plejaden. Es ist die älteste bekannte Darstellung einer solchen Vielfalt an Himmelsobjekten. Die Scheibe verrät auch, dass ihre Besitzer den Winkel zwischen dem Auf- und Untergang der Sonne zur Sommer- und Wintersonnenwende – den Tagen mit dem höchsten und dem geringsten Tageslicht jedes Jahres – gemessen hatten. Es gibt zwei Denkschulen darüber, wofür die Scheibe verwendet wurde oder was sie darstellt. Einige Archäologen glauben, dass es sich um eine astronomische Uhr handelte, was auch der Fall sein könnte Wird verwendet, um die Zeiten für die Aussaat und Ernte von Pflanzen anzuzeigen und den Sonnen- und Mondkalender zu koordinieren. Alternativ könnten die Objekte auf der Scheibe ein bedeutendes astronomisches Ereignis veranschaulichen – eine Sonnenfinsternis am 16. April 1699 v. Chr. An diesem Tag befand sich die Sonne, als sie vom Mond verfinstert wurde, nahe am Himmel sowohl an den Plejaden als auch an einer engen Gruppe von drei Planeten – Merkur, Venus und Mars. Was auch immer ihre genaue Verwendung sein mag, die Himmelsscheibe von Nebra liefert eindeutige Beweise dafür, dass einige Menschen aus der Bronzezeit detaillierte Himmelsbeobachtungen durchgeführt und auch Werkzeuge entwickelt hatten, mit denen sie den Lauf der Zeit und der Jahreszeiten markieren konnten.

View attachment 7642

Kleine Scheiben können auf Sterne hinweisen, die meisten scheinen jedoch dekorativ zu sein, da sie nicht mit bekannten Sternmustern übereinstimmen

Die große Goldscheibe stellt wahrscheinlich die Sonne dar

Nach weiteren Ergänzungen wurden aus unbekanntem Grund Löcher in den Rand gestanzt

Metallquellen
Das Kupfer der Scheibe stammte aus den österreichischen Alpen. Sein Zinn – das zusammen mit Kupfer zur Herstellung von Bronze verwendet wird – und sein ursprüngliches Gold stammten aus Cornwall, England. Das Gold in den Bögen und im Sonnenboot stammte aus den Karpaten in Osteuropa. Offensichtlich gab es zu dieser Zeit gut ausgebaute Handelsrouten quer durch Europa.
Metallquellen

Goldnugget

View attachment 7643

Pleiades Sonne oder Vollmond Zunehmender Mond oder teilweise verfinsterte Sonne	Hinzugefügte Bögen, einer davon bedeckt zwei Sterne	Sonnenboot hinzugefügt

▲ Bauphasen Die Scheibe wurde in drei Phasen hergestellt, die zeitlich deutlich voneinander getrennt waren, was darauf hindeutet, dass sie einer gewissen Umnutzung unterzogen wurde. Der Zusatz des Sonnenbootes weist darauf hin, dass es möglicherweise eine religiöse Bedeutung angenommen hat.

▶ Die goldenen Bögen Die beiden Bögen auf der Scheibe umfassen 82°, den Winkel zwischen den Punkten am Horizont, an denen die Sonne zur Sommer- und Wintersonnenwende am Fundort der Scheibe untergeht (oder aufgeht).

Würde man die Scheibe horizontal halten, würde ihr Rand den Horizont darstellen
Sonnenuntergangspunkt zur Sommersonnenwende
Sonnenuntergangspunkt zur Wintersonnenwende

View attachment 7644

Sonnenaufgangspunkt zur Sommersonnenwende

Sonnenaufgangspunkt zur Wintersonnenwende

View attachment 7645

The Plejaden

Eine Gruppe von Sternen auf der Scheibe könnte den Sternhaufen der Plejaden darstellen, dessen hellste Sterne von Himmelsbeobachtern aus der Bronzezeit mit bloßem Auge gesehen werden konnten. In Mitteleuropa wären die Plejaden zur Erntezeit ein markantes Abendmerkmal am südöstlichen Himmel gewesen.

Sterne und Staub in den Plejaden

Goldene Bögen überspannen den Winkel zwischen den Untergangs- (oder Aufgangs-)Punkten der Sonne zur Sommer- und Wintersonnenwende

Der Hort von Nebra

Die Scheibe wurde zusammen mit anderen Gegenständen vergraben, darunter zwei Schwertern aus Bronze mit Kupfer- und Goldeinlagen, einem Meißel, zwei Axtköpfen und zwei Armbinden, die zusammen als Nebra-Schatz bezeichnet werden. Es ist nicht bekannt, warum die CD zusammen mit diesen Gegenständen platziert wurde. Der Schatz wurde um 1600 v. Chr. vergraben, die Scheibe könnte jedoch älter sein. Bei der ersten Untersuchung durch Archäologen wurde vermutet, dass es sich um eine aufwändige Fälschung handelte, doch Korrosionstests, Ausgrabungen der Grabstätte und die Untersuchung der anderen Artefakte wiesen auf seine Echtheit hin.

Bronzezeitliches Schwert aus dem Hort von Nebra

Der goldene Halbmond kann entweder einen Halbmond oder die Sonne während einer Sonnenfinsternis bedeuten

Die blaugrüne Patina, die durch die Oxidation des Kupfergehalts der Scheibe entstand, war wahrscheinlich ein absichtliches dekoratives Merkmal

Der goldene Bogen mit Hunderten winziger Vorsprünge könnte ein Sonnenboot und Ruder darstellen

Das Sonnenboot

Es wird angenommen, dass es sich bei dem goldenen Bogen am unteren Rand der Himmelsscheibe von Nebra um ein Sonnenboot handelt – das Mittel, mit dem sich einige Menschen in der Antike vorstellten, dass die Sonne in der Nacht von ihrem Untergangspunkt im Westen zu ihrem Aufgangspunkt im Osten befördert werde. Die haarartigen Vorsprünge am Rand des Bogens könnten Ruder darstellen. Wenn es sich bei dem Bogen tatsächlich um ein Sonnenboot handelt, wäre es die früheste bekannte Darstellung eines solchen.

DAS ATOM UND DAS UNIVERSUM

Vom frühen 19. Jahrhundert bis in die späten 1920er Jahre kam es in den Naturwissenschaften zu einer Reihe von Durchbrüchen. Sie haben unser Verständnis der Funktionsweise und Struktur der Welt sowohl im kleinsten als auch im allergrößten Maßstab verändert und die Möglichkeit eines unendlichen Kosmos eröffnet.

Diese Entdeckungen ebneten den Weg für die Fortschritte in den 1930er bis 1950er Jahren, von der Erkenntnis, dass sich das Universum ausdehnt, bis hin zur Entwicklung von Ideen darüber, wie Energie und Materie auf subatomarer Ebene interagieren. Durch die Zusammenführung von Ideen aus der Kosmologie und der Teilchenphysik führten diese Durchbrüche schließlich zur Entwicklung der Urknalltheorie.

UNTERSUCHUNG VON MATERIE UND ENERGIE

Die Idee, dass Materie aus Atomen besteht, wurde erstmals vom antiken Griechen Demokrit vorgeschlagen (siehe S. 22). Im frühen 19. Jahrhundert belebte ein Engländer, John Dalton, die Idee wieder. Dalton betrachtete Atome als unteilbar, doch um die Wende des 20. Jahrhunderts bewiesen Experimente von Wissenschaftlern wie dem Neuseeländer Ernest Rutherford, dass sie eine Unterstruktur haben. Etwa zur gleichen Zeit zeigte der deutsche theoretische Physiker Albert Einstein, dass Materie und Energie eine Äquivalenz haben. Gleichzeitig schlug ein neues Gebiet der Physik, die Quantentheorie, (unter anderem) vor, dass sich Licht entweder wie eine Welle oder wie ein Teilchenstrom verhalten kann. Ende der 1920er Jahre war bekannt, dass Atomkerne aus Protonen und Neutronen bestehen und durch eine neu entdeckte Kraft, die starke Kraft, zusammengehalten werden. Zu dieser Zeit wurde auch Antimaterie entdeckt – subatomare Teilchen, die bis auf entgegengesetzte elektrische Veränderungen mit ihren Materieäquivalenten identisch sind – und dass das Zusammentreffen von Materie und Antimaterie beide vernichten und reine Energie erzeugen kann.

View attachment 7658

> “ WAS WIR ALS MATERIALKÖRPER BEOBACHTEN UND KRÄFTE SIND NICHTS ALS FORMEN UND VARIATIONEN IN DER STRUKTUR RAUM.
>
> Erwin Schrödinger, österreichischer theoretischer Physiker, 1887–1961

▶ Das Atom verstehen Von etwa 1800 bis Mitte der 1920er Jahre entwickelte sich das Verständnis der Atomstruktur schrittweise weiter. Später, ab Ende der 1920er Jahre, fanden Physiker heraus, dass Atomkerne eine Unterstruktur haben.

View attachment 7659

View attachment 7660

DIE ENTFERNUNGEN ZU STERNEN

Ungefähr zur gleichen Zeit wurden große Fortschritte beim Verständnis des wahren Ausmaßes des Kosmos erzielt. Im Jahr 1838 führte der deutsche Astronom Friedrich Bessell mit einer Methode namens Sternparallaxe die erste zuverlässige Messung der Entfernung zu einem anderen Stern als der Sonne durch. Obwohl der Stern einer der sonnennächsten war, schien er damals fast unvorstellbar weit entfernt – was man heute als 10,3 Lichtjahre bezeichnen würde. Erst 1912 wurde ein System zur Entfernungsschätzung zu vielen weiter entfernten Sternen entdeckt. Die Entdeckerin war eine Amerikanerin namens Henrietta Leavitt. Ihr Durchbruch betraf eine Klasse von Sternen namens Cepheid-Variable, deren Helligkeit zyklisch variiert. Leavitt fand einen Zusammenhang zwischen der Zyklusperiode und der Helligkeit dieser Sterne, was bedeutet, dass, wenn beide gemessen werden könnten, eine gute Schätzung ihrer Entfernung von der Erde möglich wäre. Innerhalb weniger Jahre wurde deutlich, dass einige Sterne Zehntausende Lichtjahre entfernt waren, während einige vage spiralförmige Nebelflecken am Himmel, die damals als „Spiralnebel" bekannt waren, Millionen von Lichtjahren zu sein schienen. Jahre entfernt.

VERSCHIEBENDE NEBEL

Zwischen 1912 und 1917 untersuchte der amerikanische Astronom Vesto Slipher mehrere „Spiralnebel" und stellte fest, dass sich viele mit hoher Geschwindigkeit von der Erde entfernten, während sich einige der Erde näherten. Er fand dies heraus, indem er eine Eigenschaft des Lichts der Nebel maß, die Rotverschiebung oder Blauverschiebung genannt wird. Es schien seltsam, dass sich die Nebel im Vergleich zum Rest der Galaxie mit einer solchen Geschwindigkeit bewegten. Teilweise angeregt durch Sliphers Erkenntnisse fand 1920 in Washington, D.C. eine formelle Debatte darüber statt, ob es sich bei diesen Nebeln möglicherweise um separate Galaxien außerhalb unserer eigenen handelte. Die Debatte verlief ergebnislos. Aber innerhalb weniger Jahre wurde die Antwort gefunden – von einem anderen amerikanischen Astronomen namens Edwin Hubble (siehe S. 30–31).

View attachment 7661

View attachment 7662

DAS UNIVERSUM WIRD GRÖSSER

In den 1920er Jahren führten zwei entscheidende Durchbrüche zu einer Revolution im Verständnis der Größe und Natur des Universums. Beide waren das Ergebnis von Entdeckungen des Astronomen Edwin Hubble.

Im Jahr 1919 kam Hubble im Alter von 30 Jahren am Mount Wilson Observatory in Kalifornien an. Seine Ankunft fiel mit der Fertigstellung des damals größten Teleskops der Welt zusammen, eines Reflektors mit einem 2,5 m (100 Zoll) breiten Spiegel, dem sogenannten Hooker-Teleskop.

ENDE DER GALAXY-DEBATTE

Damals herrschte die Ansicht vor, dass das Universum nur aus der Milchstraße bestehe, obwohl 1920 in einer berühmten Debatte (siehe S. 29) darüber diskutiert wurde, ob einige vage spiralförmige Nebel – unscharfe, Sterne enthaltende Objekte – vorhanden seien oder nicht. Am Nachthimmel könnten sich Ansammlungen von Sternen außerhalb unserer eigenen Galaxie befinden. Hubble, der diese Nebel untersucht hatte, vermutete bereits stark, dass sie sich außerhalb unserer Galaxie befanden. In den Jahren 1922–23 nutzte er das Hooker-Teleskop, um in einigen Nebeln eine Klasse von Sternen namens Cepheid-Variable zu beobachten, darunter die heutige Andromeda-Galaxie. Cepheid-Variablensterne, deren Entfernungen durch Messung ihrer durchschnittlichen Helligkeit und der Länge ihrer Helligkeitsschwankungszyklen geschätzt werden können. Als Ergebnis seiner Beobachtungen konnte Hubble 1924 verkünden, dass der Andromedanebel und andere Spiralnebel viel zu weit entfernt seien, um Teil der Milchstraße zu sein, und es sich daher um Galaxien außerhalb unserer eigenen handeln müssten. Fast über Nacht war das Universum zu einem viel größeren Ort geworden, als sich irgendjemand zuvor vorgestellt hatte.

▼ Fotografischer Beweis Diese beiden (negativen) fotografischen Platten wurden von Hubble verwendet, um einen bestimmten veränderlichen Cepheid-Stern in der Andromeda-Galaxie zu identifizieren. Studien an diesem Stern waren entscheidend für die Bestätigung, dass sich die Andromedagalaxie außerhalb der Milchstraße befindet

View attachment 7663

View attachment 7664

Zurückweichende Galaxien

Als nächstes untersuchte Hubble ein Phänomen, das bereits von einem Astronomen namens Vesto Slipher beobachtet worden war: Viele der Spiralgalaxien hatten große „Rotverschiebungen" in ihren Spektren, was bedeutete, dass sie sich mit hoher Geschwindigkeit von der Erde entfernten (siehe S. 29). Wiederum durch die Beobachtung von Cepheid-Variablen begann Hubble, die Entfernungen zu diesen Galaxien zu messen und verglich die Entfernungen mit ihren Rotverschiebungen. Er bemerkte etwas Bemerkenswertes: Je weiter eine Galaxie entfernt war, desto größer war ihre Rückzugsgeschwindigkeit – ein Zusammenhang, der als Hubble-Gesetz bekannt wurde. Hubble veröffentlichte seine Ergebnisse im Jahr 1929. Obwohl er selbst zunächst skeptisch war, war für andere Astronomen klar, dass nur eine Schlussfolgerung gezogen werden konnte – das gesamte Universum muss sich ausdehnen!

> “ DIE GESCHICHTE DER ASTRONOMIE IST EINE GESCHICHTE VON Zurückweichende Horizonte.
>
> Edwin Hubble, Amerikanischer Astronom, 1889–1953

View attachment 7665

View attachment 7666

SCHWELLE 2

STERNE WERDEN GEBOREN

Wenn nach dem Urknall Raum, Zeit, Materie und Energie vorhanden sind, entstehen neue Kraftwerke – Sterne. Diese bilden sich, wenn die Materie unter dem Einfluss der Schwerkraft immer dichter zusammengepackt wird. Die daraus resultierenden extrem hohen Temperaturen führen dazu, dass Atome miteinander verschmelzen, wodurch eine enorme Energiemenge freigesetzt wird und die Tür zu einer neuen Ebene der Komplexität im Universum geöffnet wird.

GOLDILOCKS-BEDINGUNGEN

Das frühe Universum wurde durch zwei Bestandteile geformt, die beide entstanden, als es weniger als eine Sekunde alt war. Die Schwerkraft wirkte auf winzige Schwankungen in der Dichte der Materie und setzte Prozesse in Gang, die zur Entstehung der ersten Sterne und Galaxien und schließlich eines weitaus komplexeren Universums führten.

View attachment 7686

View attachment 7687

View attachment 7688

DAS ERWEITERENDE UNIVERSUM

View attachment 7667

Edwin Hubbles Arbeit zeigte, dass sich viele Galaxien proportional zu ihrer Entfernung von uns entfernen. Man kam bald zu dem Schluss, dass sich das Universum ausdehnen muss, doch die Astronomen mussten noch verstehen, was diese Expansion ist und woraus sich das Universum ausdehnt.

Zu Beginn der 1930er Jahre begannen Wissenschaftler auch, sich mit einer Frage zu befassen, über die Philosophen seit mehreren Jahrtausenden nachgedacht hatten: Existierte unser Universum schon immer oder hatte es einen Anfang? Physiker, Mathematiker und Astronomen konnten nun versuchen, diese Frage zu beantworten.

> “ Der Radius des Weltraums begann bei Null; DIE ERSTEN STUFEN DER EXPANSION BESTEHTE AUS EINER SCHNELLEN EXPANSION BESTIMMT DURCH DIE MASSE DES ANFANGSATOMS.
>
> Georges Lemaître, Astronom, 1894–1966

▼ Georges Lemaître Lemaître war wohl der erste, der die Expansion des Universums vermutete. Er war Priester, Physiker und Astronom.

View attachment 7668

EINSTEINS MÖGLICHE UNIVERSEN

Die Geschichte, wie Wissenschaftler erkannten, dass sich das Universum ausdehnt, begann 1915 mit der Veröffentlichung von Albert Einsteins allgemeiner Relativitätstheorie. Diese Theorie beschreibt, wie die Schwerkraft auf den größten Skalen funktioniert, und sie definiert, welche möglichen Universen existieren können. Ein Teil von Einsteins Theorie besteht aus einer Reihe von Gleichungen, die gelöst werden müssen, um das langfristige Verhalten des Universums im großen Maßstab zu beschreiben. Einsteins anfängliche Lösung seiner Gleichungen deutete darauf hin, dass sich das Universum zusammenzieht, aber er konnte das nicht glauben, also führte er einen „Fix" – einen Expansionsfaktor namens kosmologische Konstante – in seine Theorie ein, um ein statisches Universum zu ermöglichen. Im Jahr 1927 schlug der belgische Astronom Georges Lemaître, der Einsteins Gleichungen studiert und von Hubbles Messungen der Galaxienentfernungen gehört hatte, vor, dass sich der gesamte Weltraum ausdehnt – doch seine Hypothese fand keine breite Beachtung. Nachdem Hubble 1929 seine Erkenntnisse über zurückweichende Galaxien

veröffentlichte, wurde vielen Astronomen klar, dass sich das Universum tatsächlich ausdehnen musste, obwohl weder Hubble noch Einstein zunächst davon überzeugt waren. Trotzdem wurde die Entdeckung viele Jahre lang Hubble zugeschrieben, aber heute sind sich die meisten Experten einig, dass sie Lemaître gleichermaßen zugute kommen sollte.

Den Urknall

entdecken Wenn sich das Universum ausdehnt und die Uhr rückwärts läuft, dann wird das Universum umso dichter, je weiter man in die Vergangenheit blickt. Aber, wie Lemaître argumentierte, kann man nur so weit gehen, bis das Universum in einen unendlich dichten Punkt zerquetscht wird. Deshalb schlug er 1931 vor, dass das Universum ursprünglich ein einzelnes, extrem dichtes Teilchen – ein „Uratom", wie er es nannte – war, das in einer Explosion zerfiel und so Raum und Zeit sowie die Expansion des Universums entstehen ließ. Im Jahr 1933 war Einstein (der inzwischen seine kosmologische Konstante aufgegeben hatte) völlig mit Lemaîtres Theorie einverstanden und nannte sie „die schönste und zufriedenstellendste Erklärung der Schöpfung, die ich je gehört habe". Die einfache Physik besagt, dass das auf einen winzigen Punkt komprimierte Universum extrem heiß wäre. In den 1940er Jahren erarbeiteten der russisch-amerikanische Physiker George Gamow und seine Kollegen Einzelheiten darüber, was in den äußerst heißen ersten Momenten eines Universums im Lemaître-Stil passiert sein könnte. Dazu gehörte auch die Frage, wie die Kerne leichter Elemente wie Helium entstanden sein könnten, ausgehend von nur Protonen und Neutronen. Die Arbeit zeigte, dass ein „heißes" frühes Universum, das sich zu dem entwickelt, was heute beobachtet wird, zumindest theoretisch machbar ist. In einem Radiointerview im Jahr 1949 prägte der britische Astronom Fred Hoyle den Begriff „Urknall" für das Modell des Universums, das Lemaître und Gamow entwickelt hatten. Endlich hatte Lemaîtres verblüffende Hypothese einen Namen, der seitdem im Gedächtnis geblieben ist.

View attachment 7669▶ Expandierender Weltraum Die Expansion des Universums kann man sich am genauesten so vorstellen, dass sich der Raum selbst ausdehnt und Objekte mit sich führt – die sogenannte kosmologische Expansion – und nicht, dass sich Galaxien und Galaxienhaufen „durch" den Weltraum voneinander entfernen.

ZEITLINIEN DER URKNALL

Seit den 1930er Jahren, als die Urknalltheorie erstmals vorgeschlagen wurde, testen und entwickeln Physiker und Kosmologen die Theorie und ergänzen die Details der ersten Momente des Universums.

Ein Teil der Arbeit zur Verbesserung der Urknalltheorie wurde durch Experimente durchgeführt, bei denen hochenergetische Teilchen kollidieren, um urknallähnliche Bedingungen wiederherzustellen (siehe S. 36–37), und ein Teil war rein theoretisch und umfasste die Formulierung von Gleichungen und Modellen. Während der experimentellen Seite dieser Reise wurden viele neue subatomare Teilchen entdeckt. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt waren die fundamentalen Kräfte, die die Wechselwirkungen zwischen Teilchen bestimmen. Seit den 1930er Jahren ist bekannt, dass es vier dieser Kräfte gibt: die Schwerkraft, die elektromagnetische Kraft, die starke Kraft und die schwache Wechselwirkung. Es wird vermutet, dass diese Kräfte während des Urknalls zunächst vereint waren. Als sich das Universum dann abkühlte, spalteten sie sich ab und lösten möglicherweise neue Phasen des Urknalls aus. Nach und nach haben Physiker alle bekannten Teilchen und Kräfte in ein Schema eingefügt, das als Standardmodell der Teilchenphysik bezeichnet wird. Eine wichtige Änderung der ursprünglichen Theorie wurde in den 1980er Jahren durch den amerikanischen Physiker Alan Guth vorgenommen. Er schlug vor, dass ein Teil des Universums in einem sehr frühen Stadium eine extrem schnelle Expansion erfuhr, die als kosmische Inflation bezeichnet wird. Guths Idee trug dazu bei, einige Aspekte des heutigen Universums zu erklären, unter anderem, warum Materie und Energie im größten Maßstab scheinbar sehr gleichmäßig verteilt sind. Die Realität der kosmischen Inflation ist mittlerweile allgemein anerkannt.

View attachment 7673

View attachment 7674

View attachment 7675

View attachment 7676

View attachment 7677

DAS PUZZLE DER SCHWERKRAFT

Die Schwerkraft bzw. Gravitation spielt eine entscheidende Rolle bei der Entstehung von Sternen und Planeten, da sie zur Verklumpung von Materie führt. Die moderne Gravitationstheorie, Einsteins allgemeine Relativitätstheorie, erklärt ihre Auswirkungen genau. Dennoch bleibt die wahre Natur der Schwerkraft ein Rätsel.

Der antike griechische Philosoph Aristoteles ging davon aus, dass sich die Erde im Zentrum des Universums befindet und dass alles eine natürliche Tendenz hat, sich dorthin zu bewegen. Laut Aristoteles haben schwerere Dinge diese Tendenz stärker und fallen daher schneller. Obwohl Aristoteles' einfache Vorstellung oberflächlich durch Beobachtungen gestützt wurde, zeigten Experimente des italienischen Wissenschaftlers Galileo Galilei im 17. Jahrhundert, dass er falsch lag. Galileis Experimente führten ihn zu der korrekten Vorhersage, dass ohne Luftwiderstand alle fallenden Objekte mit der gleichen Geschwindigkeit nach unten beschleunigen würden. Der englische Wissenschaftler Isaac Newton verdeutlichte Galileis Vorhersage mit seinem Universellen Gravitationsgesetz.

NEWTONS SCHWERKRAFT

Newton erkannte, dass das, was hier auf der Erde Dinge zu Boden fallen lässt, auch den Mond in seiner Umlaufbahn hält. Er schlug vor, dass die Schwerkraft eine Kraft sei, und leitete eine Gleichung ab, die die Stärke der Kraft zwischen allen vorhersagen könnte zwei Objekte. Nach dem Newtonschen Gesetz hängt die Kraft von der Masse der Objekte und dem Abstand zwischen ihren Mittelpunkten ab. Durch die Kombination seines Gravitationsgesetzes mit seinen Bewegungsgesetzen war Newton in der Lage, die Bewegungen aller Objekte unter dem Einfluss der Schwerkraft zu erklären – von Projektilen auf der Erde bis hin zu Planeten im Weltraum. Seine Theorie wurde über 200 Jahre lang akzeptiert – und Wissenschaftler verwenden seine Gleichung immer noch in den meisten Situationen, in denen sie die Auswirkungen der Schwerkraft berechnen müssen. Im 19. Jahrhundert zeigten jedoch Berechnungen der Umlaufbahn des Planeten Merkur, die im Widerspruch zu Beobachtungen standen, dass Newtons Theorie fehlerhaft war. Im Jahr 1915 schlug der deutsche Physiker Albert Einstein eine radikal neue Gravitationstheorie – die allgemeine Relativitätstheorie – vor, mit der die Umlaufbahn des Merkur genau vorhergesagt werden konnte. Und nach Einsteins Theorie ist die Schwerkraft überhaupt keine Kraft.

▼ Isaac Newton In den späten 1680er Jahren veröffentlichte Newton sowohl sein Universelles Gravitationsgesetz – die erste wissenschaftliche Theorie der Schwerkraft – als auch seine drei Bewegungsgesetze.

View attachment 7693

▲ Newtons Theorie In Newtons Theorie üben ein Stern und ein Planet eine Anziehungskraft aufeinander aus. Auf beide wirkt die gleiche Kraft, aber die Wirkung auf den Planeten ist deutlicher, weil er eine geringere Masse hat.

View attachment 7694

> “Newton selbst war sich der Schwächen besser bewusst IN SEINEM INTELLEKTUELLEN GEBÄUDE ALS DIE GENERATIONEN VON Gelehrte Wissenschaftler, die ihm folgten.
>
> Albert Einstein, Deutscher Physiker, 1879–1955

View attachment 7695

EINSTEINS SCHWERKRAFT

Die Allgemeine Relativitätstheorie ist eine Erweiterung der Speziellen Relativitätstheorie, einer Theorie, die Einstein 1905 veröffentlichte. Die Spezielle Relativitätstheorie war ein Versuch, Newtons Bewegungsgesetze mit der in den 1860er Jahren entwickelten Theorie des Elektromagnetismus in Einklang zu bringen. Um dies zu erreichen, musste Einstein die Idee aufgeben, dass Raum und Zeit absolut sind: Menschen, die sich relativ zueinander bewegen, messen Entfernungen und Zeitintervalle unterschiedlich – die Unterschiede werden erst bei extrem hohen Relativgeschwindigkeiten signifikant. Eine der direkten Konsequenzen der speziellen Relativitätstheorie war die Erkenntnis, dass die Zeit eine Dimension ist, genau wie die drei Dimensionen des Raums, und dass alle vier in einem vierdimensionalen Gitter namens Raumzeit existieren; Objekte bewegen sich daher durch die Raumzeit, nicht durch den Raum. Um die Spezielle Relativitätstheorie auf die Schwerkraft zu verallgemeinern, erkannte Einstein, dass Objekte mit Masse die Raumzeit verzerren. Je massiver ein Objekt ist, desto größer ist es Verzerrung. Objekte, die sich frei durch die verzerrte Raumzeit bewegen, folgen gekrümmten Bahnen. Projektile und Planeten folgen also einfach dem Äquivalent geradliniger Bahnen, allerdings in verzerrter Raumzeit. Um den Weg eines Objekts zu ändern, ist eine Kraft erforderlich. Beispielsweise drückt der Boden die Füße einer Person nach oben, wodurch die Person daran gehindert wird, einem Weg zu folgen, der sie im „freien Fall" in Richtung Erdmittelpunkt führen würde. Bei einem Stern liefert die Expansion des heißen Gases, aus dem er besteht, die nötige Kraft, um seinen Kollaps zu stoppen – eine Expansion, die so lange anhält, wie der Stern Wärme produziert (siehe S. 56–57).

EINSTEINS VORHERSAGEN

Die allgemeine Relativitätstheorie wurde viele Male mit äußerst hoher Präzision getestet. Es hat auch mehrere wichtige Vorhersagen getroffen, beispielsweise die Idee, dass Licht auch den gekrümmten Bahnen der verzerrten Raumzeit folgen muss. Das Ergebnis ist ein Phänomen namens Gravitationslinseneffekt, das sich in den verzerrten Ansichten entfernter Galaxien zeigt, deren Licht beim Vorbeiflug nahegelegener Galaxien abgelenkt wurde. Eine weitere wichtige Vorhersage ist die Existenz von Gravitationswellen: Wellen in der Raumzeit, die mit Lichtgeschwindigkeit von jedem sehr energiereichen Ereignis ausgehen. Im Jahr 2015 entdeckten Wissenschaftler den ersten eindeutigen Beweis für die Existenz von Gravitationswellen, die durch die Verschmelzung zweier Schwarzer Löcher entstehen.

View attachment 7696

◀ Gravitationswellen Die ersten jemals entdeckten Gravitationswellen resultierten aus der Verschmelzung zweier Schwarzer Löcher. Hier werden die Wellen als Wellen in einem zweidimensionalen Raumzeitblatt dargestellt. Diese Wellen wurden von empfindlichen Geräten auf der Erde entdeckt.

Trotz des Erfolgs der Allgemeinen Relativitätstheorie steht die Theorie im Widerspruch zur Quantenmechanik, einem ebenso gut erprobten Eckpfeiler der modernen Wissenschaft. Die Quantenmechanik beschreibt das Verhalten von Materie auf atomarer und subatomarer Skala genau, während die Schwerkraft das Verhalten von Materie auf viel größeren Skalen genau beschreibt – aber die beiden Theorien sind nicht kompatibel. Die Suche nach einer Quantentheorie der Schwerkraft ist ein Hauptanliegen der modernen Physik, und es ist wahrscheinlich, dass Einsteins Schwerkrafttheorie als Teil einer großen Theorie, die das Verhalten von Materie auf allen Skalen beschreiben kann, neu interpretiert oder ersetzt wird. Eines ist sicher: Das Rätsel der Schwerkraft ist noch nicht gelöst.

View attachment 7697

View attachment 7698

SCHWELLE 3

ELEMENTE SIND GESCHMIEDET

Wir alle kommen von sterbenden Sternen. Alle Elemente, aus denen unsere Welt besteht, haben dort ihren Ursprung. Sterne sind hungrig, und wenn einige von ihnen ihren Treibstoff verbrauchen, altern und schließlich sterben, kollabieren sie und erlöschen mit einer gewaltigen Energieexplosion. Aber aus dem Sternentod entstehen neue Bausteine – die Elemente – die ins Universum geschoben werden, um etwas Neues zu beginnen.

GOLDILOCKS-BEDINGUNGEN

Die Entstehung der ersten Sterne hatte tiefgreifende Folgen. Sterne erhellen nicht nur das Universum, sondern fungieren auch als chemische Fabriken, die neue chemische Elemente produzieren, die die Rohstoffe für alles andere im Universum, einschließlich Lebewesen, liefern.

View attachment 7707

View attachment 7708

Den Urknall neu erschaffen

View attachment 7678

View attachment 7679Seit Jahren nutzen Forscher der Europäischen Organisation für Kernforschung (CERN) den größten Teilchenbeschleuniger der Welt – den Large Hadron Collider (LHC), um Teilchen mit extremer Geschwindigkeit zusammenzuschleudern und so die Bedingungen wiederherzustellen, die kurz nach dem Urknall herrschten.

Der LHC ist das größte und fortschrittlichste wissenschaftliche Instrument, das jemals gebaut wurde. Unterirdisch an der französisch-schweizerischen Grenze gelegen, beschleunigt es zwei Strahlen hochenergetischer Teilchen, die sich in entgegengesetzte Richtungen bewegen, durch ringförmig verbundene Rohre mit einem Umfang von fast 27 km (17 Meilen). Von Zeit zu Zeit werden die Strahlen zur Kollision gebracht und die Ergebnisse – zu denen typischerweise das Auftreten kurzlebiger, exotischer Teilchen gehört – werden von Detektoren rund um den Ring aufgezeichnet. Der Zweck des LHC besteht darin, die Bandbreite der möglichen subatomaren Teilchen und die Gesetze zu untersuchen, die ihre Wechselwirkungen regeln. Die Physiker hoffen, dass diese Experimente ihre Vorstellungen über die Geschehnisse beim Urknall verfeinern und ihnen helfen werden, einige kaum verstandene kosmische Phänomene zu untersuchen. Die Urknall-ähnlichen Bedingungen werden nur im Miniaturformat nachgebildet – es besteht also keine Chance, dass die Experimente einen neuen Urknall und die Entstehung eines neuen Universums auslösen könnten.

NEUE ENTDECKUNGEN

Ein Erfolg des LHC bestand darin, ein Quark-Gluon-Plasma zu erzeugen, einen Strudel freier Quarks und Gluonen (siehe S. 34), der vermutlich bis zu einer Mikrosekunde (ein Millionstel Sekunde) nach dem Start existierte der Urknall. Dies gelang 2015 durch die Kollision von Protonen mit Bleikernen, wodurch winzige Feuerbälle entstanden, in denen alles kurzzeitig in Quarks und Gluonen zerfiel.

View attachment 7680

Im Jahr 2012 wurde ein lange gesuchtes, massereiches und extrem kurzlebiges Teilchen namens Higgs-Boson entdeckt. Seine Existenz bestätigte das Vorhandensein eines Energiefeldes, des Higgs-Feldes, das den durch es hindurchströmenden Teilchen Masse verleiht. Für den Urknall bedeutet dies, dass es erklärt, wie in den ersten Augenblicken des Universums Teilchen wie Quarks an Masse gewannen, was dazu führte, dass sie langsamer wurden und sich zu zusammengesetzten Teilchen wie Protonen und Neutronen verbanden. Zu den weiteren bemerkenswerten Erfolgen gehört die Entdeckung eines Pentaquarks (bestehend aus vier Quarks und einem Antiquark) im Jahr 2014. Diese Entdeckung könnte es Wissenschaftlern ermöglichen, die starke Kraft, die Quarks zusammenhält, genauer zu untersuchen.

▲ Auf der Suche nach dem Higgs-Boson Diese Computergrafik zeigt eine Teilchenkollision, die während der Suche nach dem Higgs-Boson aufgezeichnet wurde. Es zeigt Merkmale, die man vom Zerfall eines Higgs-Bosons in zwei andere Bosonen erwarten kann. Eines davon zerfällt in ein Elektronenpaar (grüne Linien) und das andere in ein Teilchenpaar namens Myonen (rote Linien).

> “ WIR HABEN DIE ENTDECKUNG EINES NEUEN TEILCHENS GEMACHT – EIN VÖLLIG NEUES TEILCHEN – WAS HÖCHSTES WAHRSCHEINLICH IST Ganz anders als alle anderen Teilchen.
>
> Rolf-Dieter Heuer, Direktor des CERN, 1948–, zur Entdeckung des Higgs-Bosons

ÜBER DEN URKNALL hinaus

View attachment 7681

Obwohl das Urknallmodell mittlerweile von der überwiegenden Mehrheit der Astronomen akzeptiert wird, wird ständig nach weiteren Beweisen gesucht, die es stützen. Es gibt auch einige Probleme mit der Theorie, die angegangen werden müssen, und einige Aspekte, die noch verstanden werden müssen.

View attachment 7682

Generell spricht für das Urknallmodell, dass sich eine wichtige Annahme, auf der es basiert, nämlich das kosmologische Prinzip (siehe gegenüberliegende Seite), bisher bestätigt hat. Das Modell funktioniert auch im Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie (siehe S.32), die heute als eine Säule der Kosmologie gilt. Diese Tatsachen bedeuten jedoch nicht unbedingt, dass die Urknalltheorie richtig ist. Um die Gültigkeit sicherzustellen, sind konkrete positive Beweise erforderlich – aber daran mangelt es nicht.

SPEZIFISCHE BEWEISE

Der wichtigste positive Beweis für den Urknall ist eine äußerst schwache, aber gleichmäßige Wärmestrahlung vom Himmel, der sogenannte kosmische Mikrowellenhintergrund (CMB). Frühe Befürworter der Urknalltheorie sagten die Existenz dieser Strahlung voraus und 1964 wurde sie von zwei amerikanischen Radioastronomen entdeckt. Der CMB entstand kurz nach dem Urknall, als Photonen (kleine Pakete strahlender Energie) von der Wechselwirkung mit Materie befreit wurden und begannen, sich ungehindert durch den Weltraum zu bewegen. Weitere überzeugende Beweise stammen aus Beobachtungen des Weltraums, die Milliarden von Jahren zurückblicken. Solche Beobachtungen haben Objekte namens Quasare (die hochenergetischen Zentren von Galaxien) entdeckt, die heute nicht mehr zu existieren scheinen. Darüber hinaus sehen die am weitesten entfernten Galaxien – also Galaxien, wie sie vor 10 bis 13 Milliarden Jahren existierten – anders aus als nähere, moderne Galaxien. Diese Beobachtungen deuten darauf hin, dass das Universum ein endliches Alter hat und sich im Laufe der Zeit entwickelt hat, anstatt statisch und unveränderlich zu sein. Ein weiterer wichtiger Beweis ergibt sich aus der Vorherrschaft und den Anteilen der chemischen Elemente Wasserstoff und Helium im Universum. Die Verhältnisse dieser beiden Elemente in ihren unterschiedlichen Formen (sogenannte Isotope) stimmen sehr gut mit den Vorhersagen der Urknalltheorie überein.

▼ Dunkle Materie In diesem Bild eines Galaxienhaufens, der mehr als 7 Milliarden Lichtjahre von der Erde entfernt ist und den Namen El Gordo („Der Dicke") trägt, zeigt der blaue Dunst die Verteilung der Dunklen Materie an – schwer zu erkennende Materie, die die Galaxie zu binden scheint Cluster zusammen durch Gravitation. Der rosafarbene Schleier weist auf Röntgenemissionen hin.

View attachment 7683

▲ Der kosmische Mikrowellenhintergrund Die von der Planck-Raumsonde gemessene Stärke der CMB wird hier als Temperaturschwankung dargestellt. Obwohl die CMB über den gesamten Himmel

einheitlich ist, wurde eine fein abgestufte Skala verwendet, um winzige Abweichungen als farbige Flecken darzustellen.

> “ Wir können die Dinge bis in die früheren Phasen zurückverfolgen Vom Urknall, aber wir wissen immer noch nicht, was BANGED UND WARUM ES BANGED. DAS IST EINE HERAUSFORDERUNG FÜR DIE WISSENSCHAFT DES 21. JAHRHUNDERTS.
>
> Martin Rees, Britischer Kosmologe, 1942–

UNBEANTWORTETE FRAGEN

Ein großes Problem in der Kosmologie im Allgemeinen besteht darin, Licht auf die Natur der „Dunklen Materie" und ihre mögliche Entstehung beim Urknall zu werfen. Dunkle Materie ist eine unbekannte Substanz, die kein Licht, keine Wärme, keine Radiowellen oder irgendeine andere Art von Strahlung aussendet – was ihre Entdeckung äußerst schwierig macht –, aber dennoch mit anderer Materie interagiert. Eine weitere Herausforderung besteht darin, „dunkle Energie" zu verstehen. 1998 wurde entdeckt, dass sich die Expansion des Universums in den letzten 6 Milliarden Jahren beschleunigt hat. Der Grund für die Beschleunigung ist nicht bekannt, als Ursache wurde jedoch das mysteriöse Phänomen der Dunklen Energie vermutet. Derzeit ist sehr wenig darüber bekannt, aber wenn dunkle Energie existiert, muss sie das gesamte Universum durchdringen.

View attachment 7684

View attachment 7685

DIE ERSTEN STERNE

In den ersten 200 Millionen Jahren war das Universum ein dunkler Ort. Doch die Dinge änderten sich dramatisch, als Gaswolken kollabierten und die ersten Sterne entstanden. Im Inneren bildeten sich neue chemische Elemente, und am Ende ihres kurzen Lebens explodierten die Sterne und verteilten die Elemente im Weltraum.

Während der Epoche der Rekombination, 380.000 Jahre nach dem Urknall (siehe S. 34), verbanden sich positiv geladene Wasserstoff- und Heliumkerne mit negativ geladenen Elektronen zu neutralen (ungeladenen) Atomen. Bis zu diesem Zeitpunkt hatten Kollisionen mit freien Elektronen verhindert, dass sich Lichtphotonen geradlinig über eine beliebige Distanz bewegen konnten. Nun wurde das Universum für Licht transparent, obwohl es auch dunkel war, da es keine Lichtquellen gab. Es war eine Zeit, die Kosmologen als das kosmische dunkle Zeitalter bezeichnen. Inmitten der dunklen Suppe aus neutralem Gas befand sich noch dunkleres Zeug: dunkle Materie. Wissenschaftler haben wenig Ahnung von der Natur der Dunklen Materie, obwohl sie wissen, dass es viele davon gibt und dass sie von der Schwerkraft beeinflusst wird, aber nicht mit Licht oder anderen Formen von Strahlung interagiert.

WIE STERNE ENTSTEHEN Winzige Schwankungen in der Dichte der Dunklen Materie sowie der Gase Wasserstoff und Helium führten dazu, dass riesige Gaswolken unter dem Einfluss der Schwerkraft kollabierten und riesige kugelförmige Materieklumpen bildeten. Dies wäre ohne dunkle Materie geschehen, aber viel langsamer – so langsam, dass sich bis heute keine Sterne gebildet hätten. Die enorme Energie, die beim Kollaps freigesetzt wurde, erhitzte die Gaskugeln. Durch die zunehmenden Dichten tief im Inneren der Gaskugeln und infolge der hohen Temperaturen In ihren Kernen kollidierten Wasserstoff- und Heliumkerne, und einige von ihnen schlossen sich zusammen oder verschmolzen. Diese Kernfusion führte zur Bildung weiterer Heliumkerne aus den Wasserstoffkernen und neuer, schwererer Elemente – einschließlich Bor, Kohlenstoff und Sauerstoff – aus den Heliumkernen (siehe S. 58–59). Durch die Kernfusion in den kollabierenden Gaskugeln wurde eine enorme Energiemenge freigesetzt, die ausreichte, um das Gas auf unglaublich hohe Temperaturen zu erhitzen. Dadurch dehnte sich das Gas aus und schützte es vor einem weiteren Zusammenbruch. Die hohe Temperatur ließ auch die Gaskugeln hell leuchten – und so entstanden die ersten Sterne. Die extrem heißen ersten Sterne emittierten große Mengen starker ultravioletter Strahlung, die weitreichende Auswirkungen hatte. Als die intensive Strahlung neutrale Wasserstoff- und Heliumatome traf, die sich noch im Weltraum befanden, trennte ihre Energie die Elektronen von ihren Kernen – genau wie vor der Epoche der Rekombination. Durch diese „Reionisierung" entstand im Raum um jeden Stern eine Plasmablase aus Wasserstoffionen, Heliumionen und freien Elektronen. Der heutige interstellare Raum ist ein äußerst dünnes Plasma, das durch diese Reionisierung entstanden ist und durch das nahezu die gesamte Strahlung hindurchtreten kann.

View attachment 7689

View attachment 7690

KURZE LEBEN

Die ersten Sterne waren groß und massereich: wahrscheinlich Dutzende Male so groß wie die Sonne und mit Hunderten Mal so viel Masse. Solche Sterne brennen schnell aus. Die erste Generation von Sternen lebte wahrscheinlich nur ein Jahr wenige Millionen Jahre, verglichen mit mehreren Milliarden Jahren für einen durchschnittlichen Stern in späteren Generationen. Als der „Brennstoff" Wasserstoff und Helium in den Kernen der Sterne zu schwinden begann, kühlten sie ab, wodurch der Kollaps erneut beginnen konnte und schließlich dazu führte, dass die Sterne als Supernovae explodierten (siehe S. 60–61). Die Explosionen schleuderten einen Cocktail aus neuen Elementen und dem verbleibenden, nicht verschmolzenen Wasserstoff und Helium in den Weltraum. Dieser Cocktail bildete die Zutaten einer zweiten Generation von Stars.

STARS DER ERSTEN GENERATION LEBEN NUR EIN PAAR MILLIONEN JAHRE VOR DER EXPLODIERUNG WIE Gewalttätige Supernovae

View attachment 7691

◀ Frühes Licht Dies ist eine künstlerische Darstellung von CR7, einer kleinen, hellen Galaxie. In einer Entfernung von 12,7 Milliarden Lichtjahren erscheint CR7 so, wie es etwa eine Milliarde Jahre nach dem Urknall war. Es stellt den bisher besten Beweis für Sterne der ersten Generation dar.

View attachment 7692

DIE ERSTEN GALAXIEN

Eine Galaxie ist eine riesige Ansammlung von Sternen, die ein gemeinsames Zentrum umkreisen. Die ersten Galaxien begannen sich kurz nach den ersten Sternen um Klumpen dunkler Materie herum zu bilden. Die gegenseitige Anziehungskraft führte dazu, dass diese kleinen Galaxien verschmolzen, wobei jede Verschmelzung neue Sternentstehungsstürme auslöste.

▼ Galaxy Evolution In Abwesenheit direkter Beobachtungen konstruieren Astrophysiker Simulationen, um ihre Theorien darüber zu testen, wie sich die ersten Galaxien bildeten. Die Bilder unten sind Schnappschüsse aus einer dieser Simulationen.

View attachment 7699

Dunkle Materie war entscheidend für die Entstehung der ersten Galaxien, ebenso wie für die Entstehung der ersten Sterne (siehe S. 44–45). Leichte Schwankungen in der Dichte der Dunklen Materie im frühen Universum führten dazu, dass Dunkle Materie und gewöhnliche Materie – in Form von Wasserstoff- und Heliumgas – zusammenklumpten. Die dunkle Materie bildete ein Netzwerk aus gewundenen Filamenten und Knoten oder Halos verschiedene Maßstäbe. Der Verklumpungsprozess trieb die Bildung einzelner Sterne voran, da die Materiekonzentrationen zu rotieren und sich zu erwärmen begannen, was schließlich zur Kernfusion führte (siehe S. 56–57). In größerem Maßstab erzeugte derselbe Prozess auch Sternhaufen. Jeder Sternhaufen und das ihn umgebende Gas wurden von benachbarten Sternhaufen angezogen, und die ersten Galaxien des Universums entstanden.

WACHSENDE GALAXIEN

Als die Materie auf die Materie fiel, wuchsen die Halos aus dunkler Materie und damit auch die Galaxien. Wie Wasser, das durch ein Loch abfließt, begann sich ein Großteil der Materie beim Fallen zu drehen, so dass sie sich in eine Umlaufbahn um den dichtesten, zentralen Teil des Halos bewegte. Dadurch gewannen Galaxien, die ursprünglich unregelmäßig geformte Massen waren, an Ordnung und Struktur. Viele bildeten rotierende Scheiben mit Spiralarmen; andere waren eiförmige elliptische Galaxien. Aber mit jeder Fusion wurde die Struktur zerstört, nur um Millionen oder Milliarden Jahre später wiedererlangt oder weiterentwickelt zu werden. Die Verschmelzungen fügten auch Energie und Masse hinzu, und die Geschwindigkeit der Sternentstehung und des Sternsterbens nahm zu. Jeder Stern in einer jungen Galaxie beendete unweigerlich sein Leben in einer gewaltigen Supernova-Explosion, die die Galaxie mit den Elementen füllte, die die nächste Generation von Sternen und sogar Planeten hervorbringen würden.

SUPERMASSIVE SCHWARZE LÖCHER

Obwohl ein Großteil des Gases und viele Sterne in der Umlaufbahn um das Zentrum jeder Galaxie blieben, fielen große Mengen der Materie in Richtung des Zentrums. In großen Galaxien nahm die Dichte im Zentrum so stark zu, dass sich dort ein supermassereiches Schwarzes Loch (siehe S. 47) bildete. Während sich Materie auf das wachsende Schwarze Loch zudrängte, wurde sie durch Reibung auf extrem hohe Temperaturen erhitzt und große Mengen freigesetzt Energiemengen wie hochenergetische (kurzwellige) Röntgenstrahlen, ultraviolette Strahlung und helles sichtbares Licht. Astronomen entdeckten diese energiereichen Galaxien erstmals in den 1950er Jahren; Die

Entdeckungen machten sie mit frühen Radioteleskopen, da die kurzwellige Strahlung durch die Ausdehnung des Weltraums so stark gedehnt wurde, dass sie als langwellige Infrarot- und Radiowellen ankommt. Die meisten großen Galaxien im heutigen Universum, einschließlich unserer eigenen, haben in ihren Zentren immer noch supermassereiche Schwarze Löcher.

View attachment 7700

◀ Verschmelzende Galaxien Astronomen beobachten viele verschmelzende Galaxien. Hier ist NGC 4676 zu sehen – auch bekannt als Mäusegalaxien – ein Paar kollidierender Galaxien in einer Entfernung von etwa 290 Millionen Lichtjahren

> “ [IN SIMULATIONEN] KÖNNEN SIE STERNE UND GALAXIEN ERSTELLEN Das sieht aus wie echt. ABER ES IST DIE DUNKELHEIT Materie, die den Ton angibt.
>
> Professor Carlos Frenk, Kosmologe, 1951–

View attachment 7701

HUBBLE EXTREM TIEFENFELD

Das vom Hubble-Weltraumteleskop aufgenommene eXtreme Deep Field zeichnet schwaches Licht von Tausenden von Galaxien in einem kleinen Bereich des Himmels auf. Es ist der tiefste Einblick in den Weltraum, der jemals aufgenommen wurde, und liefert den besten Beweis, den wir über die Sterne und Galaxien des frühen Universums haben.

View attachment 7702Wenn wir in den Weltraum blicken, blicken wir in der Zeit zurück, denn das Licht entfernter Objekte ist schon vor langer Zeit verschwunden. Licht, das vor 5 Milliarden Jahren eine Galaxie verließ, wird extrem schwach erscheinen, egal wie hell die Galaxie zu diesem Zeitpunkt war. Um ein derart dunkles Objekt abzubilden, ist eine lange Belichtungszeit erforderlich – nicht einen Bruchteil einer Sekunde wie bei einem typischen Foto, sondern Millionen von Sekunden. Im Jahr 1995 richteten Astronomen das Hubble-Weltraumteleskop der NASA über 140 Stunden lang auf einen winzigen Fleck am Himmel und kombinierten insgesamt 342 Bilder zu einem einzigen, bemerkenswerten Bild namens Hubble Deep Field. Im Jahr 2004 produzierten NASA-Wissenschaftler das noch bemerkenswertere Hubble Ultra Deep Field – ein Bild mit noch längerer Belichtung an einem anderen Himmelsausschnitt. Die Beobachtungen in diesem Gebiet wurden in den nächsten acht Jahren fortgesetzt Jahre, und die Ergänzung des Teleskops um eine Infrarotkamera im Jahr 2009 ermöglichte es, auch Objekte zu sehen, deren Licht über das sichtbare Spektrum hinaus und ins Infrarote rotverschoben war (siehe S. 29). Die neuen Beobachtungen wurden mit dem Ultra Deep Field kombiniert und das Ergebnis 2012 als Hubble eXtreme Deep Field (XDF) veröffentlicht. Das Licht der am weitesten entfernten Galaxien im XDF brauchte mehr als 13 Milliarden Jahre, um uns zu erreichen, und sie erscheinen nur ein Zehnmilliardstel so hell wie das dunkelste mit bloßem Auge sichtbare Objekt. Das Hubble XDF enthält Beweise für Galaxienverschmelzungen (siehe S. 49), extreme Rotverschiebung und Gravitationslinsen (siehe S. 47) und ist ein bedeutendes Beweisstück zur Unterstützung der überzeugendsten Theorien, die wir über die Entwicklung des Universums haben.

▶ Rückblick Zu den größten und hellsten Objekten im XDF gehören reife Galaxien, die so aussehen, wie sie vor etwa 5 bis 9 Milliarden Jahren waren – als sie durch Verschmelzung gewachsen waren und von Sternen der zweiten oder dritten Generation bevölkert waren. Die Galaxien im Hintergrund sind kleiner: junge, unregelmäßige Galaxien, wie sie vor über 9 Milliarden Jahren zu sehen waren. Der Vordergrund ist relativ leer, da das XDF-Team einen Bereich ausgewählt hat, in dem es in unserer eigenen Galaxie fast keine nahegelegenen Galaxien und Sterne gibt.

View attachment 7703

View attachment 7704

Sichtfeld

Neben dem Vollmond deckt das Hubble eXtreme Deep Field einen winzigen Bereich ab: weniger als ein Zwanzigmillionstel der Fläche des gesamten Himmels. Um das Bild in seiner wahren Größe zu sehen, müssten Sie diese Seite etwa 300 m (1.000 Fuß) entfernt halten. Es ist bemerkenswert, dass in einem so kleinen Sichtfeld mehr als 7.000 Galaxien zu sehen sind – und sich vorzustellen, dass jeder winzige Punkt im Bild eine Ansammlung von Millionen oder Milliarden von Sternen ist, die in der Zeit eingefroren sind.

View attachment 7705

Das Sichtfeld von XDF, mit dem Mond zum Vergleich

Frühe Galaxien

Das XDF bietet Astronomen einen einzigartigen Blick auf Galaxien, wie sie in den ersten paar hundert Millionen Jahren des Universums waren, als es sich um relativ kleine, unregelmäßig geformte Sterngruppen handelte. Als sie kollidierten und verschmolzen, nahmen die meisten eine Spiralform an, da die Kollisionen zu einer Rotation führten. Das Universum war kleiner, als das im XDF eingefangene Licht die jungen Galaxien verließ. Mit der Ausdehnung des Weltraums wurde das Licht „gedehnt" und verschob seine Frequenzen in Richtung des roten Endes des Spektrums oder sogar darüber hinaus, weshalb so viele der XDF-Galaxien rötlich erscheinen.

View attachment 7706

Nahaufnahme einer stark rotverschobenen Galaxienverschmelzung

DER LEBENSZYKLUS EINES STERNS

View attachment 7709

Genau wie Menschen werden Sterne geboren, altern und sterben. Die Art und Weise, wie ein Stern seine Tage beendet, hängt von seiner Masse ab, wobei die größten Sterne als Supernovae explodieren. Diese Detonationen lieferten und versorgen das Universum weiterhin mit schwereren Elementen und recyceltem Material, das für die Umwandlung in neue Sterne bereitsteht.

EIN ÜBERRIESIGER STERN KANN HABEN EIN VOLUMEN 8 MILLIARDEN MAL DAS DER SONNE

Folglich spielte der Lebenszyklus der Sterne auch eine entscheidende Rolle bei der Entstehung des Lebens auf der Erde. Wesentliche Bestandteile – einschließlich des Kalziums in Ihren Knochen und des Eisens in Ihrem Blut – wurden im Inneren von Sternen geschmiedet, nur um sie durch Supernovae weit und breit zu verbreiten. Sterne gibt es in den unterschiedlichsten Größen. Astronomen klassifizieren sie in sieben Hauptgruppen vom größten zum kleinsten, die mit den Buchstaben O, B, A, F, G, K und M bezeichnet werden. Unsere Sonne ist ein G-Stern, was bedeutet, dass es da draußen größere und kleinere Sterne als unseren eigenen gibt. Die kleinsten Sterne, sogenannte Zwerge, kommen am häufigsten vor. M-Sterne machen beispielsweise mehr als 75 Prozent aller Sterne aus. Im Gegensatz dazu machen O-Sterne nur 0,00003 Prozent aus. Die Größe eines Sterns bestimmt auch, wie lange er lebt. Je größer der Stern, desto schneller verbraucht er sein Kernmaterial. O-Sterne leben schnell und sterben jung, oft sterben sie innerhalb weniger Millionen Jahre aus, während die kleinsten Sterne Billionen von Jahren überleben können.

LEBENSPHASEN

Sterne beginnen ihr Leben als Protosterne, die aus interstellaren Staubwolken entstehen (siehe S. 44–45). Kernprozesse im Kern eines Sterns schützen ihn dann vor einem Gravitationskollaps. Für den größten Teil des Lebens eines Stars gilt dies Das Gleichgewicht bleibt erhalten, aber die Dinge ändern sich, wenn die Fusion schließlich aufhört. Astronomen bezeichnen einen Stern, der noch Wasserstoff zu Helium fusioniert, als Hauptreihenstern. Sobald diese Fusion aufhört, entwickelt sich der Stern aus der Hauptreihe heraus. Bei allen außer den kleinsten Sternen zieht sich der Kern zusammen und die Temperatur steigt auf etwa 100 Millionen Grad Celsius. Dies ist heiß genug, dass Helium zu Kohlenstoff verschmilzt, wodurch genug Energie entsteht, um das Gleichgewicht in die andere Richtung zu stören und den Stern nach außen aufzublähen. Je nach Größe verwandelt er sich dann entweder in einen planetarischen Nebel mit einem Weißen Zwerg im Zentrum oder detoniert als Supernova und hinterlässt einen Neutronenstern oder ein Schwarzes Loch.

▼ Sonnenähnlicher Stern Sterne wie die Sonne leben normalerweise etwa 10 Milliarden Jahre. Nach dem Eintritt in die Phase des Roten Riesen bilden sie einen planetarischen Nebel – und explodieren normalerweise nicht als Supernova.

View attachment 7710

View attachment 7711

View attachment 7712▶ Niedrig-Masse-Stern Diese kleineren Sterne sind in der Lage, ihre Innenräume zu mischen, was bedeutet, dass die Wasserstoffversorgung durch den Kern durch die äußeren Schichten in Richtung des Zentrums nachgefüllt wird-so dass sich der Kern nicht mit der Heliumfusion zusammenzieht.

View attachment 7713▶ Massereicher Stern Die Entwicklung massereicherer Sterne ähnelt zunächst der von sonnenähnlichen Sternen. Aber sie bilden statt Roter Riesen Rote Überriesen und schließlich Supernovae. Das endgültige Schicksal des Sterns hängt von seiner Masse ab.

> “ STERNE WERDEN GEBOREN, LEBEN – OFT MILLIARDEN VON JAHREN – UND STERBEN … MANCHMAL AUF SPEKTAKULÄRE WEISE.
>
> Carl Sagan, Amerikanischer Astronom, 1934–1996

View attachment 7714

View attachment 7715

WIE NEUE ELEMENTE IN STERNEN BILDEN

Bevor die ersten Sterne leuchteten, war das Universum nur ein Meer aus Wasserstoff, Helium und der Restenergie des Urknalls. Die chemische Vielfalt im heutigen Universum ist darauf zurückzuführen, dass Sterne – praktisch riesige Atomfabriken – primitive Materialien in komplexere Elemente umwandeln und diese dann nach außen schleudern, wenn sie sterben.

View attachment 7717Innerhalb Sterne ist die Temperatur hoch genug, um die Elektronen von den Atomenkern abzureißen. Bei Wasserstoff lässt dies Einzelprotonen (und Elektronen), die um das Innere des Sterns wandern. Materie in diesem Zustand ist als Plasma bekannt. Aufgrund ihrer ähnlichen Ladungen stoßen Protonen gegenseitig ab, eher wie ähnliche Pole eines Magneten.

NEUE ELEMENTE IN STERNEN Tief im Kern des Sterns sind die Temperatur und der Druck jedoch hoch genug, um Protonen zusammenzudrücken. Dieser als Kernfusion bekannte Prozess setzt Energie frei und ist die Energiequelle des Sterns. Außerdem übt es einen nach außen gerichteten Druck aus, der der nach innen gerichteten Schwerkraft entgegenwirkt. Der einfachste Fusionsmechanismus wird Proton-Proton-Kette (oder pp-Kette) genannt. Im ersten Schritt verwandelt sich eines der verschmolzenen Protonen in ein Neutron, wodurch ein neues Proton-Neutron-Paar namens Deuteron entsteht. Dieses wird von einem anderen Proton beschossen, wodurch der Kern eines Helium-3-Atoms entsteht. Wenn zwei dieser Helium-3-Atome kollidieren, bilden sie zusammen mit zwei Protonen einen Helium-4-Kern, der den gesamten Prozess von vorne beginnen kann. Der deutsch-amerikanische Physiker Hans Bethe war maßgeblich an der Entdeckung dieses Prozesses beteiligt und erhielt für seine Arbeit 1967 den Nobelpreis für Physik. Entscheidend ist, dass die Gesamtmasse der Produkte der pp-Kette geringer ist als die Masse der in sie eintretenden Inhaltsstoffe. In der Sonne beispielsweise 620 Millionen Tonnen Jede Sekunde werden 616 Millionen Tonnen Wasserstoff (Protonen) in 616 Millionen Tonnen Helium umgewandelt.
Die fehlenden vier Millionen Tonnen Masse werden nach Einsteins berühmter Gleichung E = mc2 in Energie umgewandelt. Schließlich geht der Wasserstoff im Kern des Sterns zur Neige und die Schwerkraft zieht den Kern zusammen. Der daraus resultierende Temperaturanstieg ermöglicht die Übernahme eines neuen Fusionsmechanismus – des Triple-Alpha-Prozesses – einer, dessen Hauptbestandteil Helium-4-Kerne (Alpha-Partikel) sind. Dadurch können zwei Heliumkerne zu Beryllium und dann, unter Hinzufügung eines dritten Heliumkerns, zu Kohlenstoff verschmelzen. Bei kleineren Sternen wie der Sonne endet hier der Atomaufbauprozess. Größere Sterne können jedoch die Vielfalt chemischer Elemente weiter erhöhen; Sobald ein Fusionspfad erschöpft ist, zieht sich der Kern zusammen und die Temperatur steigt, um einen neuen in Gang zu setzen. Anschließend verschmilzt Kohlenstoff mit Helium zu Sauerstoff, der von einem weiteren Heliumkern bombardiert wird, um Neon zu bilden, das seinerseits durch einen ähnlichen Prozess in Magnesium umgewandelt wird. Die Bandbreite der möglichen Reaktionen ist riesig. Schließlich verschmelzen Kohlenstoff und Sauerstoff zu Silizium.

> ENDLICH KOMME ICH ZU CARBON UND WIE DU ALLE WISSEN, IM FALL VON KOHLENSTOFF Die Reaktion klappt wunderbar.
>
> Hans Bethe, Deutsch-amerikanischer Physiker, 1906–2005

View attachment 7716

Zu diesem Zeitpunkt ist die Temperatur im Kern auf drei Milliarden Grad Celsius angestiegen, was ausreicht, um zwei Siliziumkerne zu Eisen zusammenzupressen. Auf diese Weise sammelt sich im Inneren des Sterns eine Fülle von Elementen in Schalen an, die den Schichten einer Zwiebel ähneln und in deren Kern sich Eisen befindet. Da Eisen jedoch das stabilste aller Elemente ist, kann es nicht mit etwas anderem verschmolzen werden und die Fusion kommt zum Erliegen. Mit der Bildung schwererer Elemente beschleunigt sich der Prozess – es kann Millionen von Jahren dauern, bis ein Stern seinen Wasserstoff verbraucht hat, aber die Verschmelzung von Siliziumkernen zu Eisen dauert nur einen einzigen Tag.

View attachment 7718

NEUE ELEMENTE IN SUPERNOVAS

Elemente, die schwerer als Eisen sind, können nur entstehen, wenn ein massereicher Stern in einer Supernova explodiert. Die nächstschwereren Elemente werden durch den S-Neutroneneinfangprozess gebildet – „s" steht für langsam, da dieser normalerweise Hunderte von Jahren dauert. Dieser Prozess beginnt tatsächlich im Inneren von Sternen, aber in Sternen sind die Wechselwirkungen extrem langsam – sie beschleunigen sich erst, wenn eine Supernova in Gang kommt. Durch die frühere Umwandlung von Kohlenstoff in Sauerstoff und Neon in Magnesium entstand eine Fülle zusätzlicher Neutronen. Die allmähliche Kombination dieser überschüssigen Partikel mit vorhandenen Kernen ermöglicht die Bildung von Elementen, die so schwer sind wie Wismut. Bei diesem Prozess können jedoch keine Elemente entstehen, die schwerer als Wismut sind, da Wismut in Polonium zerfällt, bevor es sich mit einem Neutron verbinden kann. Es ist ein viel schnellerer Neutroneneinfangmechanismus erforderlich – der R-Prozess („r" steht für). schnell). Der R-Prozess kann nur unter den extremen Bedingungen einer Supernova stattfinden. Während der Explosion nimmt die Dichte der Neutronen stark zu und in Sekundenbruchteilen können neue Elemente entstehen. Einige dieser R-Prozess-Kerne zerfallen später und erzeugen neue Elemente, die nicht direkt durch einen der Neutroneneinfangprozesse entstehen.

KOMPLEXE CHEMIE

Diese Fülle an Material wird durch die Kraft der Supernova im weiteren Universum verteilt. Anschließend vermischt es sich mit interstellarem Material und Trümmern anderer toter Sterne Sie bilden riesige Molekülwolken, die schließlich kollabieren und neue Sterne bilden. Einzelne Atome können sich in den Wolken mit anderen zu komplexen Molekülen verbinden, von denen einige für das Leben entscheidend sind. Astronomen und Astrochemiker haben bereits Hinweise auf diese Moleküle gefunden. Die einfachste Aminosäure – Glycin – wurde in einer Gaswolke im Zentrum unserer Milchstraße sowie im nahegelegenen Orionnebel nachgewiesen. Aminosäuren gelten als Bausteine des Lebens, daher ist es möglich, dass die Grundbestandteile des Lebens lange vor

Sonnenaufgang entstanden sind.

View attachment 7719

▲ Die Verteilung der Elemente Die Kombination der auf der Erde vorkommenden Elemente unterscheidet sich stark vom Universum insgesamt. Die leichtesten Elemente Wasserstoff und Helium wurden von der jungen Sonne aus der Erdumlaufbahn verdrängt. Sauerstoff, das am häufigsten vorkommende Element der Kruste, entstand, als das Leben durch Photosynthese Kohlendioxid in Zucker umwandelte.

View attachment 7720

◀ Neue Elemente in sterbenden Sternen Wenn eine Quelle an Fusionsmaterial zur Neige geht, zieht die Schwerkraft den Kern des Sterns zusammen und löst eine weitere Fusion aus. Dadurch werden sukzessive konzentrische Schalen aus neuen Elementen aufgebaut. Die Elemente werden immer schwerer, gemessen an ihrer Ordnungszahl (Anzahl der Protonen im Kern), die zwischen 1 und 26 liegt.

View attachment 7721

▲ Die kosmischen Ursprünge des Lebens Die Bausteine des Lebens wurden in der unserem Sonnensystem am nächsten gelegenen Sternentstehungsregion, dem Orionnebel, gefunden. Aminosäuren bilden zusammen Proteine und sind ein Schlüsselbestandteil der DNA.

View attachment 7722

WENN RIESENSTERNE EXPLODIEREN

Heute wissen wir, dass Supernovae das Universum mit Elementen übersäten, die schwerer als Eisen sind. Aber unser Versuch, diese sengenden Explosionen zu verstehen, reicht bis in eine Zeit zurück, lange vor dem Aufkommen unseres astronomischen Verständnisses. Wir dokumentieren sie seit fast 2.000 Jahren.

Der früheste aufgezeichnete Beweis einer beobachteten Supernova stammt von chinesischen Astronomen im Jahr 185 n. Chr. Sie dokumentierten das Erscheinen eines plötzlichen hellen Lichts am Himmel, das acht Monate brauchte, um wieder zu verschwinden. Ein ähnliches Ereignis ereignete sich im Jahr 393 n. Chr. und bis zu 20 weitere mögliche Ereignisse tauchen in chinesischen Aufzeichnungen auf, obwohl moderne Astronomen nicht bestätigen konnten, dass es sich bei allen um Supernovae handelte. Eine definitive Explosion – vielleicht die berühmteste der Zeit vor dem Teleskop – wurde im Jahr 1054 beobachtet. Sie wurde in Japan und im Nahen Osten sowie in China beobachtet. Leuchtend genug, um fast einen Monat lang bei Tageslicht gesehen zu werden. Es war fast zwei Jahre lang zu Gast am Nachthimmel. Das Überbleibsel dieser kolossalen Explosion ist der spektakuläre Krebsnebel im Sternbild Stier.

Kurz vor A ÜBERRIESIGER STERN EXPLODIERT Als Supernova ist es so Die Temperatur erreicht ca 100 MILLIARDEN°C

View attachment 7723

Betreten Sie das Teleskop

Dem Ereignis von 1054 folgten fast sechs Jahrhunderte später die Supernovae von 1572 und 1604, die letzten in der Zeit vor dem Teleskop. Letztere, bekannt als Tychos Supernova, war die letzte beobachtete Explosion in unserer Milchstraßengalaxie. In jüngerer Zeit erreichte uns jedoch Licht im Jahr 1987 durch eine Explosion in einem der Satelliten unserer Galaxie – der Großen Magellanschen Wolke. Bis dahin konnten Astronomen es mit Teleskopen innerhalb weniger Tage nach der Detonation beobachten. Auch die Voyager-Sonde, die sich damals auf dem Weg zu den am weitesten entfernten Planeten befand, wurde zur näheren Betrachtung auf die Explosion gerichtet. Mit der Bezeichnung SN 1987A überraschte es die Astronomen, da die besten Theorien der damaligen Zeit besagten, dass der Stern, der explodierte, dies nicht hätte tun dürfen. Folglich ist es zu einer wertvollen Beweisquelle geworden, anhand derer Astronomen ihre Theorien testen können. Einige ihrer Ideen wurden durch SN 1987A gestützt, insbesondere dass der radioaktive Zerfall von Kobaltatomen den Supernova-Überrest noch lange nach der ersten Explosion hell hält. Aber einige Geheimnisse bleiben bestehen. Beispielsweise müssen Astronomen noch den Neutronenstern finden, der sich im View attachment 7724Herzen des sterbenden Sterns hätte bilden sollen. Die Supernova 1054 und SN 1987A waren beide Supernovae vom Typ II, die durch den Kernkollaps massereicher Sterne entstanden.

View attachment 7725

View attachment 7726

View attachment 7727

▼ Das Periodensystem wurde der Russischen Chemischen Gesellschaft erstmals am 6. März 1869 als „Periodensystem" vorgestellt. Diese berühmte Darstellung der Hauptbestandteile der Materie

organisiert die Elemente auf unglaublich nützliche Weise.

View attachment 7728

Den Elementen einen Sinn geben

View attachment 7729

Das Periodensystem der Elemente ist eines der bekanntesten Symbole der Wissenschaft. Durch die Organisation der Elemente nach ihrer atomaren Struktur bietet es eine standardisierte Möglichkeit, sie zu ordnen und zu klassifizieren. Von den 118 Elementen in der Tabelle bilden 92 Sterne und Supernovas.

View attachment 7730

Dmitri Mendelejew Mendelejew ist der Name, der am meisten mit dem Periodensystem in Verbindung gebracht wird. Er hat nicht den Nobelpreis gewonnen, aber er hat ein nach ihm benanntes Element (Mendelevium) sowie einen Krater auf dem Mond

Periodenzeilen werden als Perioden bezeichnet. Ihre Hauptaufgabe besteht darin, sicherzustellen, dass Elemente mit ähnlichen chemischen Eigenschaften in der richtigen Gruppe erscheinen. Derzeit gibt es sieben Perioden

Kachel Auf jeder Kachel wird ein chemisches Symbol für das Element (entweder ein oder zwei Buchstaben) sowie Informationen wie die Ordnungszahl und die relative Atommassenzahl angezeigt

Je schneller die wissenschaftliche Revolution wurde, desto schneller wurden neue Elemente entdeckt. Im Laufe der Zeit wurde ein Muster in ihrem chemischen Verhalten gefunden. Der erste Versuch, die Elemente in Gruppen zu ordnen, erfolgte im späten 18. Jahrhundert, als der französische Chemiker Antoine Lavoisier sie in vier Kategorien einteilte: Gase, Nichtmetalle, Metalle und Erden. Im Jahr 1829 stellte der Deutsche Johann Döbereiner fest, dass Trios von Elementen ähnliche chemische Eigenschaften hatten. Entscheidend war, dass er erkannte, dass die Eigenschaften des einen aus denen der anderen beiden vorhergesagt werden konnten. In den 1860er Jahren hatte der britische Chemiker John Newlands sein Oktavgesetz entwickelt, das besagte, dass jedes achte Element ein ähnliches chemisches Verhalten aufwies. Gelegentlich musste er jedoch zwei Elemente in die gleiche Kiste quetschen und ließ keine Lücken für noch unentdeckte Elemente. Dieses Problem erklärt, warum der Russe Dmitri Mendelejew oft als Vater

des Periodensystems angesehen wird. Im Jahr 1869 veröffentlichte Mendelejew eine primitive Version der berühmten Tabelle, die Lücken ließ, die auf der „Periodizität" der bekannten Elemente beruhten.

SO FUNKTIONIERT DER TISCH

Die Elemente sind nach zunehmender Atommasse geordnet. Die horizontalen Reihen werden als Perioden bezeichnet – eine neue Periode beginnt, wenn sich das Verhalten eines Elements wiederholt. Beispielsweise beginnt nach Neon eine neue Periode um sicherzustellen, dass sich Natrium in derselben Säule wie Lithium befindet (beide sind hochreaktiv). Diese Spalten oder Gruppen sind der eigentliche Schlüssel zur Tabelle. Mendelejews Tabelle hatte nur sieben Gruppen, aber die Leistungsfähigkeit seines Systems wurde in den 1890er Jahren bestätigt, als die Edelgase entdeckt wurden und perfekt in eine achte Gruppe passten.

WO DIE ELEMENTE GESCHMIEDET WERDEN

Die sengende Hitze in den ersten Minuten nach dem Urknall verwandelte einen Teil des im Kosmos entstehenden Wasserstoffs durch Kernfusion in Helium (siehe S. 58). Nach nur 20 Minuten stoppte die Fusion und die Grundzusammensetzung des Universums wurde auf etwa 75 Prozent Wasserstoff und 25 Prozent Helium festgelegt. Es dauerte Millionen von Jahren, bis weitere Elemente auftauchten. Die Elemente bis einschließlich Eisen entstehen durch Fusion in Sternen, wohingegen viele Elemente darüber hinaus Eisen nur in der Katastrophe einer Supernova entstehen können.

View attachment 7731

▲ Organisieren der Elemente Die Elemente können nach ihrer Entstehung gruppiert werden. Die meisten Elemente bis hin zu Uran entstehen durch Kernreaktionen in Sternen oder Supernovae. Elemente, die schwerer als Uran sind, sind instabil und kommen selten vor.

View attachment 7732

> “ Existenz einer allgemeinen Herrschaft der Ordnung in der Natur Und die Ursachen für diese Ordnung zu finden
>
> Dmitri Mendeleev, Russischer Chemiker, 1834–1907

SCHWELLE 4

PLANETEN FORM Wenn sich unser eigener Stern – die Sonne – entzündet, reißt seine Anziehungskraft die Elemente in eine Umlaufbahn um ihn herum. Wenn sie zusammenstoßen, beginnen sich Planeten zu bilden. Während die leichteren Elemente in die äußeren Regionen geblasen werden und dort Gasriesen bilden, verbleiben die schwereren Elemente in der Nähe der Sonne und bilden Gesteinsplaneten, einschließlich der Erde: Unsere Heimat ist geboren.

GOLDILOCKS-BEDINGUNGEN
Als Sterne aus den Trümmern früherer Sterne entstanden, blieb etwas chemisch reiches Material in der Umlaufbahn zurück. Diese Trümmer verklumpten zu Materiekügelchen, die durch Schwerkraft und chemische Bindungen zusammengehalten wurden. Bei diesen Strukturen handelte es sich um Planeten, und sie waren weitaus komplexer als alles, was zuvor gesehen wurde. Wir wissen jetzt, dass dies erstmals vor langer Zeit in Sonnensystemen geschah, die viel älter als unser eigenes sind.

View attachment 7733

View attachment 7734

View attachment 7743

UNSERE SONNE ENTZÜNDET
In einer ansonsten unauffälligen Region unserer Milchstraße begann sich eine riesige Materiewolke zu verschmelzen. Unsere Sonne erlebte eine stürmische Geburt, erhitzte sich und drehte sich, bis sie explodierte und zum Leben erwachte.

Eine unscheinbare Masse aus Gas und Staub, die nur wenige Gasmoleküle pro Kubikzentimeter maß, schwebte ziellos im Weltraum. Schließlich begann es unter der Last seiner eigenen Schwerkraft zusammenzubrechen. Es ist wahrscheinlich, dass dieser Kollaps durch eine Schockwelle einer nahegelegenen Supernova ausgelöst wurde. Überall im Sonnensystem kommt eine seltene Art von Aluminium vor, die eine mögliche Spur dieser Supernova sein könnte.

UNAUFHALTBARE KRAFT
Was auch immer die Ursache sein mag, wir wissen, dass die Wolke im Laufe von mehreren Millionen Jahren immer dichter wurde. Im Zentrum war die Wolke am dichtesten und heißesten – dies war die Protosonne, und sie bestand zu etwa 75 Prozent aus Wasserstoff und zu 25 Prozent aus Helium. Extrem Temperaturen und Drücke wirkten der eigenen Schwerkraft entgegen und schleuderten Eis, Gestein und Gas aus dem Zentrum. Diese Materialien verflachten sich zu einer rotierenden Scheibe, die begann, die Protosonne zu umkreisen. Als die Protosonne in eine neue Phase intensiver Aktivität eintrat, begann sie Strahlungsstrahlen von ihren Polen auszustoßen. Heftige Winde schleuderten leichtere Elemente wie Wasserstoff und Helium an den Rand der

Umlaufbahn der Protosonne. Bald stiegen Temperatur, Druck und Größe der Protosonne noch weiter an, bis sie 99,9 Prozent der Materie des ursprünglichen Sonnennebels absorbiert hatte. Obwohl sich diese Ereignisse vor fast fünf Milliarden Jahren ereigneten, können wir Hinweise auf die Entstehung unserer Sonne gewinnen, da wir beobachten können, wie anderswo in der Galaxie neue Sterne entstehen.

> “ DIE SONNE, MIT ALL DIESEN PLANETEN, DIE SICH DREHEN UM DARUM... KANN NOCH EINE REIHE TRAUBEN REIFEN Als ob es nichts anderes im Universum zu tun hätte.
>
> Galileo Galilei, Astronom, 1564–1642

View attachment 7737

View attachment 7744

View attachment 7739

View attachment 7745

View attachment 7741

View attachment 7746

DIE PLANETEN FORM

Die Planeten in unserem Sonnensystem begannen ihr Leben als Gas und winzige Staubkörner. Durch die Anziehungskraft der jungen Sonne formte er sich in Millionen von Jahren heftiger Kollisionen zu einer wirbelnden Scheibe und formte das Gas und den Staub schließlich zu beeindruckenden Planeten, von denen einer unsere Heimat werden würde.

Vor den modernen Planeten gab es die Planetesimale – die Bausteine, aus denen Planeten bestehen. Das Zusammenfügen kleinerer Brocken zu größeren Brocken wird als Akkretion bezeichnet.

ZUSAMMENBAU EINES PLANETEN

Die unregelmäßigen Umlaufbahnen der überwiegend festen Materie um die junge Sonne führten zu häufigen Einschlägen, die zu Akkretionen führten. Zunächst wuchsen zentimetergroße Körner zu metergroßen Klumpen heran. Es dauerte Dutzende bis Hunderte von Millionen Jahren, bis ihre kollektive Schwerkraft Materialien ansammelte, die zu Planetesimalen mit einer Ausdehnung von Kilometern führten. Die größten Planetesimale verfügten über genügend Gravitationskraft, um unerbittlich zusätzliches Material anzuziehen. Die durch diesen Prozess der außer Kontrolle geratenen Akkretion gebildeten Planetesimale schufen die Embryonen von Planeten.

VERSCHIEDENE ARTEN VON WELT

Die Entfernung, in der sich diese Planetenkeime von der Sonne bildeten, bestimmte, ob der spätere Planet hauptsächlich aus Gestein oder Gas bestand. Im heißen Ring des inneren Sonnensystems könnten nur Materialien mit sehr hohen Schmelzpunkten wie Eisen, Nickel und Silizium überleben und in die Gesteinsplaneten Merkur, Venus, unseren Heimatplaneten Erde und Mars eingebaut werden. Im äußeren Sonnensystem, jenseits dessen, was Astronomen als Frostgrenze bezeichnen, gefror Materialien wie Wasser und Methan bei den eisigen Temperaturen. Je mehr festes Material verfügbar war, desto stärker war die Anziehungskraft dieser größeren Planetesimale. Dadurch konnten leichtere Elemente wie Wasserstoff und Helium leichter eingefangen werden, was zu den riesigen Gasatmosphären führte, die typisch für Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun sind.

> “ Die Entstehung der Planeten ist wie ein Riese SCHNEEBALLKÄMPFUNG... EIN PLANETENBALL, DER SICH VERSAMMELT HAT ALLE SCHNEEFLOCKEN IN DER UMGEBUNG.
>
> Claude Allègre, Wissenschaftler und Politiker, 1937–

KONTINENTE DRIFT

Die Karte unserer modernen Welt ist ein vertrautes Bild, aber diese Anordnung der Kontinente ist eine relativ neue Entwicklung in der Geschichte unseres Planeten. Ganze Kontinente haben sich im Laufe von Hunderten von Millionen Jahren gespalten und auseinander bewegt. Diese Idee wurde erst im späten 20. Jahrhundert akzeptiert.

View attachment 7796

View attachment 7797Die Tatsache, dass sich die Landmassen der Erde im Laufe der Zeit verschoben haben, macht beim Betrachten einer Weltkarte Sinn. Manche Kontinente scheinen wie Puzzleteile zusammenzupassen. Allerdings galt die Vorstellung, dass sich diese riesigen Landmassen bewegen könnten, in der Wissenschaft lange Zeit als ungeheuerlich. Trotz ihrer Vorbehalte gibt es die Idee schon seit Jahrhunderten, und der flämische Kartograph Abraham Ortelius gilt weithin als der erste, der Ende des 16. Jahrhunderts solche Gedanken geäußert hat.

View attachment 7798SCHLIESSUNG DER LÜCKE

Im 19. Jahrhundert erstellte Antonio Snider-Pellegrini zwei Karten, die zeigten, wie leicht sich die gewundenen Küstenlinien der verschiedenen Kontinente zu einem riesigen Superkontinent zusammenzufügen scheinen. Weitere Beweise dafür, dass die weit entfernten Kontinente einst verbunden waren, stammen aus dem Fossilienbestand (siehe S. 158–59). Wissenschaftler begannen zu entdecken, dass versteinerte Überreste ähnlicher Tiere und insbesondere Pflanzen auftauchten an Orten, die heute durch riesige Ozeane getrennt sind. Dies wurde mit der Vorstellung erklärt, dass Kontinente einst über riesige Landbrücken verbunden waren, die inzwischen erodiert oder tief im Meer versunken sind. Ein weiteres heikles Thema, das Geologen verwirrt, war der Ursprung von Gebirgsketten wie dem Himalaya. Die Leitidee im 19. Jahrhundert war, dass sich die Gipfel als Falten bildeten, als die Erde abkühlte und schrumpfte. Wenn das wahr wäre, müssten Gebirgsketten gleichmäßig über die Erdoberfläche verteilt sein – und das ist nicht der Fall. Um die Wende des 20. Jahrhunderts entwickelten sich die Ideen weiter. George Darwin, Charles' Sohn, vermutete, dass der Mond einst Teil der Erde gewesen sei und dass sein Fehlen für den riesigen, landlosen Pazifischen Ozean verantwortlich sei. Seine Theorie besagte, dass sich die Kontinente trennten, als sich der Mond löste, was ihre gegenwärtige Position erklärt. Eine andere Theorie besagte, dass die Erde existierte expandieren. Als der Planet größer wurde, mussten sich seine Landmassen ausbreiten. Beide Ideen verloren nach und nach an Unterstützung, da die genauen physikalischen Mechanismen dahinter nicht gefunden werden konnten.

▲ Erste Hinweise Forscher stellten fest, dass die Ostküste Südamerikas und die Westküste Afrikas scheinbar zusammenpassten. Diese Karten wurden 1858 vom Geographen Antonio Snider-Pellegrini gezeichnet.

View attachment 7799

▶ Mutige Ideen Der deutsche Wissenschaftler Alfred Wegener (1880–1930) hoffte, auf seiner vierten Expedition nach Grönland solide Beweise für seine Kontinentalverschiebungstheorie zu

sammeln, doch er starb, als er Vorräte für sein Lager sammelte.

A NEW IDEA
In 1912, German scientist Alfred Wegener argued in favour of continental drift. He not only showed matching fossil evidence on disparate continents, but also concluded that the types of rock and other geological structures were similar too. He decided that this idea could not co-exist with the theory of now-submerged land bridges, so he suggested that the continents themselves had moved apart. This offered a potential solution to the mountain conundrum. If continents were free to roam, then over time some could collide. If India had smashed into mainland Asia, the Himalayas would be the result of continental crumpling.
Wegener published his findings the same year, suggesting that Earth's land masses ploughed through the sea over time. His work met with a lukewarm reception from the scientific community, in part because he could not provide a plausible reason as to why the continents would drift. He incorrectly calculated the rate of their movement and overestimated by a factor of 100 compared to today's accepted value, which did not help his cause.
Wegener's academic background was also a hindrance. Given his training as an astronomer and meteorologist, many in the geological community suggested he did not have the expertise required to be taken seriously. He was not without some support, however – British geologist Arthur Holmes backed his ideas, arguing as early as 1931 that Earth's mantle contained currents that helped move parts of the crust.

View attachment 7800

View attachment 7801
◀ Continent scars In 1977, this map, the result of a lifetime's work by oceanographers and cartographers Marie Tharp and Bruce Heezen, revealed the ocean floor in new detail, providing conclusive evidence for plate tectonics.

Es hat über 300 Jahre gedauert DIE IDEE VON CONTINENTAL DRIFT ENDLICH ZU SEIN ALS TATSACHE AKZEPTIERT

Hinweise vom Meeresboden
Erst in den 1950er Jahren tauchten Beweise auf, die den Meinungswandel zugunsten von Wegener wendeten. Im Jahr 1953 ergab die Analyse von Gesteinen in Indien, dass es sich einst auf der Südhalbkugel befand, was Wegeners Argument zur Gebirgsbildung untermauerte. Etwa zur

gleichen Zeit wurde ein riesiges Unterwassergebirge – der Mid-Ocean Ridge – entdeckt. Es ist der längste Berg der Erde Verbreitungsgebiet und erstreckt sich über alle seine Ozeane. Die damaligen Geologen mussten nun auch die Existenz dieses Bergrückens erklären. Es würde einem ehemaligen Offizier der US-Marine zufallen, der zum Geologen wurde Harry Hess, um all diese Ideen miteinander zu verbinden. Nachdem Hess Anfang der 1960er Jahre im Zweiten Weltkrieg Sonar zur Kartierung des Ozeans eingesetzt hatte, kam er aufgrund seiner Forschungen zu der Annahme, dass die Kontinente aufgrund eines Prozesses namens „Meeresbodenausbreitung" tatsächlich auseinanderdrifteten. Im Jahr 1958 hatte der australische Geologe Samuel Carey vorgeschlagen, dass die Erdoberfläche, ihre Kruste, aus Platten aufgebaut sei. Hess vertrat die Idee und argumentierte, dass die Kruste des Planeten an den Plattengrenzen aufreiße und Magma aus dem Mantel aufsteigen könne. Wenn sich dieses Material verfestigt, bildet es einen Grat und drückt den vorhandenen Meeresboden auseinander. Es liegt also nicht daran, dass sich die Kontinente durch die Meereskruste pflügen, wie Wegener vorgeschlagen hatte, sondern dass der Meeresboden selbst wächst und die Kontinente wegträgt, die Teil der sich bewegenden tektonischen Platten sind (siehe S. 92–93). Heute werden diese Ideen in der Theorie der Plattentektonik zusammengefasst. Es wird durch Beobachtungen der Erde aus dem Weltraum mithilfe der Geodäsie gestützt, die kleine Änderungen der Schwerkraft der Erde kartiert, um Massenkonzentrationen zu lokalisieren. Untersuchungen zur Polarität des Erdmagnetfelds, von dem bekannt ist, dass es sich im Laufe der Zeit häufig ändert (Norden wird zu Süden und umgekehrt), geben ebenfalls Aufschluss. Dadurch bleiben magnetische Streifen zurück Gestein auf dem Meeresboden (siehe S. 94–95), wodurch wir die Bänder datieren und zeigen können, wie schnell sich der Meeresboden ausbreitet. Die Plattentektonik wurde erst in den 1970er Jahren allgemein akzeptiert, als Karten des Meeresbodens, wie die von Marie Tharp und Bruce Heezen, keinen Zweifel daran ließen, dass sich der Meeresboden ausdehnte und damit die Kontinentaldrift verursachte.

View attachment 7802

SCHWELLE 5

LEBEN ENTSTEHT
Die Erde hat eine privilegierte Stellung im Sonnensystem – in einem Band, das nicht zu kalt und nicht zu heiß ist, um flüssiges Wasser zu unterstützen. Aus dieser lebenswichtigen Zutat entsteht das Leben. Und durch einen Prozess der natürlichen Selektion entwickelt sich das Leben von einfachen Bakterien zu komplexen Wirbeltieren, formt unseren Planeten und erfüllt ihn mit erstaunlicher Vielfalt.

GOLDILOCKS-BEDINGUNGEN
Auf der Erde entstanden lebende Organismen aus nicht lebenden komplexen Chemikalien. Lebensformen konnten metabolisieren, was bedeutet, dass sie Energie aus ihrer Umgebung gewinnen konnten. Sie könnten sich auch selbst kopieren und sich an ihre Umgebung anpassen – durch den Prozess der natürlichen Selektion.

View attachment 7811

View attachment 7812

Harte Beweise | DER IMILAC-METEORIT

Meteoriten – Materialstücke, die durch den Weltraum geflogen und auf der Erde gelandet sind – liefern kleine Zeitkapseln antiker Daten. Sie haben sich seit der Geburt des Sonnensystems entwickelt, sodass die Informationen, die sie enthalten, oft älter als die Erde.

View attachment 7749Artefakte, die es schon nach der Entstehung des Sonnensystems gab, kreisen noch heute als Kometen und Asteroiden um unsere Sonne. Sie sind Relikte des frühen Sonnensystems, die aufgrund fehlender geologischer Aktivität relativ unverändert geblieben sind. Wenn sie als Meteoriten auf der Erde landen, können wir durch ihre Untersuchung in die Vergangenheit reisen und unsere Theorien über die Entstehung unseres Sonnensystems und unseres Planeten überprüfen. Zehntausende Meteoriten mit einem Gewicht von mehr als 10 g (1⁄4 oz) landen jedes Jahr auf der Erde und liefern wertvolle Informationen darüber, wie das Sonnensystem vor Milliarden von Jahren aussah. Bei dieser Probe handelt es sich um ein Stück eines Meteoriten namens „Imilac", der selbst ein kleines Fragment von fast einer Tonne Material war, das im Rahmen eines einzigen Einschlagereignisses in die Atacama-Wüste in Chile fiel. Imilac ist klassifiziert als Pallasit-Meteorit aufgrund seiner Metallmatrix, die seine Kristalle einkapselt. Wie alle Pallasiten entstand er an der Grenze zwischen dem metallischen Kern und dem felsigen Mantel eines Planetesimals, der während der Entstehung unseres Sonnensystems möglicherweise aufgrund der Anziehungskraft der frühen Sonne auseinanderbrach. Dabei fielen einige kleine Stücke des Mantels in den geschmolzenen Kern. Es dauerte dann mindestens eine Million Jahre, bis diese Brocken zu den im Metall verstreuten Kristallen abgekühlt waren, die Sie hier sehen können. Pallasit-Meteoriten können nicht nur dabei helfen, das Alter des Sonnensystems zu bestimmen, sie können auch Hinweise auf seine frühe chemische Zusammensetzung liefern. Pallasiten wie dieser sind in unserer irdischen Sammlung unglaublich selten – sie machen nur 0,4 Prozent der Meteoriten aus, die Wissenschaftler gesammelt haben.

View attachment 7748

▲ Umlaufende Beweise Diese Eisberge auf dem Kometen 67p, die 2014–15 von Sonden untersucht wurden, sind so alt wie unser Sonnensystem. Das Vorhandensein von Eis im Inneren des Kometen zeigt, dass während der Entstehung des Sonnensystems Wasser oder Eis vorhanden war.

Woher wissen wir, wie alt es ist?
Die Berechnung des Alters dieser kosmischen Fragmente ermöglicht es Geologen, die Geburt des Sonnensystems zu datieren. Dieser Meteorit war einst Teil des heißen Inneren eines Asteroiden oder Planetesimals. Als der Asteroid so weit abgekühlt war, dass sein geschmolzenes Gestein und Metall gefror, schloss er auch Isotope ein – instabile, radioaktive Atome. Wissenschaftler können ein Verfahren namens radiometrische Datierung (siehe S. 88–89) verwenden, um ein Datum für dieses Ereignis festzulegen. Durch die Messung der heutigen Isotopendichten können Geologen berechnen, wie viel radioaktiver Zerfall stattgefunden hat, und schätzen, dass der Asteroid 4,5 BYA erstarrte – kurz nach der Geburt der Sonne.

View attachment 7750

Was geschah beim Aufprall?
Während des Abstiegs dieses Meteoriten auf die Erde zerfiel er in Fragmente, als er in die Atmosphäre unseres Planeten eindrang. Die Oberfläche dieses Fragments wurde durch Reibung erhitzt und eine dünne Kruste schmolz. Äußere Kristalle schmolzen aus der Matrix heraus, aber Kristalle im Inneren blieben kühl und intakt, da der Durchgang durch die Erdatmosphäre nur wenige Sekunden dauerte.

Der Baustein der Erde?
Durch den Vergleich der Zusammensetzung dieser Meteoriten mit der Zusammensetzung der Erde können Geologen die Art der Planetesimale identifizieren, die zusammenkamen, um unseren Planeten zu bilden. Wie die Erde enthält dieser Meteorit Eisen und Nickel – beide gelten vermutlich als Erdkern. Asteroiden, Zwergplaneten und dieser Pallasit-Meteorit sind seit dem frühen Sonnensystem unverändert geblieben und können daher wichtige Beweisstücke für die Bestimmung seiner Geschichte sein.

View attachment 7751
Planetesimalbildung aus kleineren Körpern

Kristalle aus dem felsigen Mantel
Die Kristalle bestehen aus Olivin und Peridot – Materialien, die in Tetrataenit vorkommen, einem Mineral, das Magnetfelder aufzeichnen kann. Die mikroskopische Analyse dieser Partikel zeigt, dass der Meteorit, als er Teil eines Asteroiden war, ein Magnetfeld hatte – bis sein Kern erstarrte

View attachment 7752
Eine dünne Meteoritenscheibe unter dem Mikroskop

View attachment 7753

View attachment 7754

DIE SONNE ÜBERNIMMT DIE KONTROLLE

Zwischen 4,1 und 3,8 Bya veränderten Planeten ihre Umlaufbahnen in einer Kaskade von Gravitationsstörungen. Der Prozess hinterließ acht große Planeten in Umlaufbahnen, die bis heute stabil sind. Allerdings kontrolliert die Sonne in ihrem Nachbarraum weit mehr als nur diese Planeten.

View attachment 7755Wissenschaftler beschäftigen sich seit langem mit der Frage, wie das moderne Sonnensystem entstanden ist. Bei der Modellierung der Entwicklung der Sonnenumgebung war es schwierig, ihre heutige Form zu erklären, wenn die Planeten schon immer dort gewesen wären, wo sie jetzt sind.

SCHÖNES MODELL

Die gegenwärtige Anordnung des Sonnensystems passt zu der Erklärung, dass die vier Gasriesen anfangs viel näher beieinander lagen: Jupiter bewegte sich nach innen, während die anderen drei sich von der Sonne entfernten. Es ist sogar möglich, dass Uranus und Neptun die Reihenfolge vertauscht haben. Die Auswanderung von Neptun hätte viele der kleineren Objekte des Sonnensystems in eine Region namens Kuipergürtel verstreut. Diese Simulation ist nach der Stadt in Frankreich, in der sie entwickelt wurde, als „Nizza-Modell" bekannt. Wenn die Wanderung der Gasriesen etwa 600 Millionen Jahre nach der Entstehung des Sonnensystems stattfand, könnte sie auch für das als „Spät" bekannte Ereignis verantwortlich sein Schweres Bombardement. Dies geschah, als eine plötzliche Verschiebung der Bewegungen der Gasriesen und ihrer Gravitationsfelder dazu führte, dass eine katastrophale Flut von Asteroiden auf das innere Sonnensystem, einschließlich der Erde, einschlug. Von den Apollo-Astronauten zur Erde zurückgebrachte Mondgesteinsproben deuten auf eine Häufung von Meteoreinschlägen um 3,9 BYA hin. Schuld daran war laut dem Nizza-Modell die Riesenplanetenwanderung

EIN FEHLENDER PLANET

Simulationen der Kindheit des Sonnensystems deuten auch darauf hin, dass unsere Sonne einst mehrere Planeten hatte. Indem sie dem Modell einen fünften Gasplaneten hinzufügten, stellten die Forscher fest, dass sie eine viel bessere Anpassung an die moderne Anordnung der Planeten erreichen könnten. Da wir heute jedoch keine fünf Gasplaneten haben, muss der fünfte aus dem Sonnensystem geschleudert worden sein. Angesichts der Tatsache, dass Astronomen kürzlich abtrünnige Planeten entdeckt haben, die durch den leeren Weltraum ohne Stern wandern, ist die Idee nicht so bizarr, wie sie zunächst erscheinen mag.

View attachment 7756

View attachment 7757

ZEITPLAN | LEBENSGESCHICHTE

Das Leben ist über 4 Milliarden Jahre alt und entstand erstmals, als die Erde nur ein Zehntel ihres heutigen Alters hatte. Aber schon ganz am Anfang war das Leben, obwohl mikroskopisch klein, das komplexeste Ding im bekannten Universum.

Die gewaltsame Geburt der Erde hinterließ einen Planeten, auf dem Leben nicht nur möglich, sondern vielleicht sogar unvermeidlich war. Als das Land abkühlte und sich permanente Ozeane bildeten, entstanden die ersten Protozellen – wahrscheinlich tief unter Wasser um chemikalienreiche Risse im jungen Meeresboden. Innerhalb weniger Millionen Jahre waren diese Protozellen zu Mikroben geworden – und Milliarden von Jahren danach gehörte die Welt nur ihnen. Sie entwickelten Möglichkeiten, Energie entweder aus Sonnenlicht oder durch den Verzehr anderer Mikroben zu gewinnen und legten damit den Grundstein für die übrige Vielfalt des Lebens. Die größte und komplexeste Lebensform – das vielzellige Leben – hat sich erst in der letzten Milliarde Jahre der Erdgeschichte entwickelt. Dies sind die Organismen, die sich in jüngster Zeit zu den bekannten Pflanzen und Tieren entwickelt haben. Damals konnte das Leben aus dem Mikroskopischen entstehen und die Ozeane und das Land mit Grün und sich schnell bewegenden Lebewesen füllen.

View attachment 7813

> “ ES GIBT 4 MILLIONEN VERSCHIEDENE ARTEN TIERE UND PFLANZEN DER WELT – 4 MILLIONEN VERSCHIEDENE LÖSUNGEN FÜR DIE Probleme, am Leben zu bleiben.
>
> David Attenborough, Naturkundesender, 1926– Leben auf der Erde, 1979

View attachment 7814

View attachment 7815

WIE WIR SOLARSYSTEME FINDEN

Seit Jahrhunderten erkennen Astronomen die Sterne als entfernte Versionen unserer eigenen Sonne. Die Sterne sind so weit entfernt, dass es bis zum Ende des 20. Jahrhunderts dauerte, die Anwesenheit von sie umkreisenden Planeten herauszufinden und neue Sonnensysteme zu entdecken.

View attachment 7758Sterne sind oft millionenfach größer als Planeten, und ihre beträchtliche Helligkeit übertönt bei weitem jedes Licht, das ihre Planetenfolgen reflektieren. Aufgrund ihrer großen Entfernung erscheinen die Sterne selbst von der Erde aus nur als winzige Lichtflecken – der nächstgelegene ist über 40 Billionen km (25 Billionen Meilen) entfernt. Erst in den letzten Jahrzehnten haben Wissenschaftler die Technologie entwickelt, um die sie umkreisenden außerirdischen Welten zu erkennen.

Das Licht blockieren

Obwohl ein Planet zu klein und dunkel ist, um direkt beobachtet zu werden, blockiert er einen Teil des Lichts seines Muttersterns, wenn er an ihm vorbeizieht. Astronomen können aus diesem einfachen Ereignis eine Fülle von Informationen gewinnen. Die Größe des Planeten wird beispielsweise durch die Menge des ausgeblendeten Lichts verraten. Ein Vorbeiflug der Erde würde eine Änderung der Helligkeit der Sonne um 0,01 Prozent verursachen. Die Zeit zwischen aufeinanderfolgenden Transiten verrät die Dauer der Umlaufbahn des Planeten, die wiederum Aufschluss über seine Umlaufentfernung gibt: Kürzere Umlaufbahnen bedeuten nähere Planeten. Daher nutzen Astronomen diese Entfernung, um die Temperatur des Planeten abzuschätzen und festzustellen, ob er bewohnbar sein könnte.

GRAVITATIONSWAGEN

Die andere Möglichkeit, andere Sonnensysteme zu finden, besteht darin, die wechselseitige Natur der Schwerkraft auszunutzen. Während Sterne bekanntermaßen Planeten anziehen, ziehen Planeten auch ihre Sonnen zurück. Durch dieses leichte Ziehen wackelt der Stern leicht auf der Stelle. Diese kleinen Veränderungen in der Bewegung des Sterns wirken sich darauf aus, wie wir das von ihm emittierte Licht sehen. Wenn er auf uns zu wackelt, verschiebt sich das Licht des Sterns in Richtung des blauen Endes des Farbspektrums. Bewegt es sich hingegen von uns weg, erfolgt die Verschiebung in Richtung des roten Endes (siehe S. 28–29). Da massereichere Planeten ihre Sterne mit größerer Gravitationskraft anziehen, sind diese Farbverschiebungen bei schwereren Planeten stärker ausgeprägt, sodass Astronomen die Masse des Planeten abschätzen können.

View attachment 7759

View attachment 7760

View attachment 7761

View attachment 7762

GROSSE IDEEN | GESCHICHTE DER EVOLUTION

Manche nennen es die größte Idee aller Zeiten: dass alles, was jemals auf der Erde gelebt hat – Dodos und Diatomeen, Kohlköpfe und Könige – von einem einzigen gemeinsamen Vorfahren abstammt. Die Möglichkeit der Evolution des Lebens beschäftigte einige der größten Köpfe, aber es bedurfte der lebenslangen Beschäftigung eines Herrn mit dem „Artenproblem", um zu erklären, wie es dazu kommen konnte.

Das Leben verändert sich im Laufe von Tausenden und Millionen von Jahren. Aus einer Lebensform wird eine andere entstehen, die in irgendeiner Weise durch die Umgebung, in der sie lebt, verändert wird. Die zweite Lebensform ist besser an das Überleben in ihrer Umgebung angepasst und behält einige Aspekte ihrer vorherigen Form bei. Dies ist eine Evolution durch natürliche Selektion, und wir können ihren Fortschritt anhand des Fossilienbestands verfolgen.

FRÜHE HINWEISE

Philosophen der Antike hatten das evolutionäre Denken vorweggenommen: Einige erwogen die Möglichkeit, dass alles Leben in eine Hierarchie eingeordnet werden könnte – mit dem Menschen an der Spitze. Im 17. und 18. Jahrhundert erkundeten westliche Naturforscher die Welt und füllten Museen mit Fossilien. Diejenigen, die diesen ausgestorbenen Tieren Namen gaben, taten dies aus religiöser Sicht. Es wurde davon ausgegangen, dass Tiere dies tun wurden in ihrer jetzigen Form von Gott geschaffen. Alle Arten auf der Erde waren schon immer da und konnten nicht verändert werden. Fossilien könnten als Tiere erklärt werden, die während der Großen Sintflut gestorben waren. Wissenschaftler, die die Anatomie verschiedener Tiere verglichen, stellten zahlreiche Parallelen zwischen den Arten fest. Diese Ähnlichkeiten stützten die Idee einer Verwandtschaft zwischen bestimmten Tiergruppen. Beispielsweise waren afrikanische Paviane den Asiatischen Makaken zweifellos näher als den winzigen Weißbüschelaffen. Ebenso schienen Schimpansen dem Menschen nahe zu sein. Was bedeutete diese Nähe, wenn überhaupt?

ALTERNATIVE WELTANSICHT

Für Charles Darwin – der in eine ehrfürchtige Gesellschaft hineingeboren wurde – erregten diese anatomischen Affinitäten seine Aufmerksamkeit. Er wurde für eine fünfjährige Reise an Bord der HMS Beagle empfohlen. Während seiner Reise sammelte er Exemplare aus der ganzen Welt. Darwin dachte über die unerwarteten regionalen Ähnlichkeiten seiner Exemplare nach. Ähnlichkeiten zwischen Arten, die Tausende von Kilometern voneinander entfernt lebten, schienen der Vorstellung eines einzelnen, spontanen Schöpfungsereignisses zu widersprechen. Tiere an Die Galápagos-Inseln ähnelten denen im nahegelegenen Südamerika, und die ungewöhnliche Tierwelt in Australien schien einer ganz anderen Schöpfung zu gehören. Nach Darwins Rückkehr nach England untersuchte der Ornithologe John Gould seine Sammlung von Galápagos-Vögeln. Darwin

nahm an, dass sie zu mehreren Familien gehörten, aber Gould zeigte, dass es sich tatsächlich um Arten eng verwandter Finken innerhalb einer Familie handelte.
Darwins Erfahrungen überzeugten ihn davon, dass diese neuen Arten nicht nur eine Abwandlung einer früher verallgemeinerten Art waren, sondern dass dies möglicherweise bei allen Lebensformen der Fall war – dass es für alle einen gemeinsamen Vorfahren gab. Darwin grübelte über seine Theorie nach, dass die Evolution durch unendlich kleine Veränderungen über viele, viele Jahre hinweg erfolgte und Tiere mit überlebenswichtigen Merkmalen eher dazu neigten, sich zu vermehren und diese „günstigen" Eigenschaften an die nächste Generation weiterzugeben. Im Jahr 1858 schrieb der englische Naturforscher Alfred Russell Wallace mit der gleichen Idee an Darwin. Ein Jahr später veröffentlichte Darwin seine Ideen in einem Buch, seinem berühmten „Über die Entstehung der Arten" im Jahr 1859, das in der wissenschaftlichen Gemeinschaft für Aufsehen sorgte. Er sah sich mit Empörung konfrontiert, da dadurch die biblische Schöpfung im Wesentlichen als Tatsache in Frage gestellt wurde. Dennoch fanden Darwins Theorien respektable Anhänger, darunter den englischen Naturforscher Thomas Henry Huxley, einen Freund Darwins, der sich in der wissenschaftlichen Gemeinschaft für seine Sache einsetzte. Innerhalb weniger Jahre wurde die Evolution durch natürliche Selektion in Lehrbüchern gelobt. In seinen Prinzipien der Biologie prägte der Philosoph Herbert Spencer einen Ausdruck, der zum Synonym für Darwins Ideen wurde: „Überleben des Stärkeren".

EINE EINHEITLICHE THEORIE

Darwins Werk „Über die Entstehung der Arten" war in seinem Beweiskatalog erschöpfend, aber das Geheimnis der Vererbung blieb bestehen. Darwin wusste, dass sich das Leben im Laufe der Zeit veränderte, aber wie genau fanden diese Veränderungen statt? Die weitverbreitete Ansicht war, dass sich die erblichen Eigenschaften zweier Elternteile vermischten – vergleichbar mit dem Mischen von Farben verschiedener Farben. Niemand wusste, ob diese Eigenschaften physisch existierten. In Wirklichkeit führte diese Mischung zu einer Verwässerung der Sorten und nicht zur Entstehung neuer Sorten und war daher keine ausreichende Erklärung.

> “ DIE GESCHICHTE WARNT UNS... DASS ES DAS IST ÜBLICHES SCHICKSAL NEUER WAHRHEITEN ZU ANFANGEN ALS Ketzereien ...
>
> Thomas Henry Huxley, Biologe, 1825–1895

CHARLES DARWIN WARTETE 23 JAHRE VOR DER PRÄSENTATION SEINE IDEEN AN DIE ÖFFENTLICHKEIT, FÄLLIG ZU IHRER KONTROVERSE

Der Durchbruch kam von einer unwahrscheinlichen Quelle: einem Augustinermönch in Österreich. Gregor Mendels Experimente mit der Züchtung verschiedener Erbsensorten in den 1860er Jahren erlaubten ihm die Schlussfolgerung, dass die Vererbung auf Partikeln beruht, die später Gene genannt wurden. Bei der sexuellen Fortpflanzung wurden Gene neu gemischt, um einzigartige Kombinationen zu erzeugen, von denen einige möglicherweise in späteren Generationen zum Ausdruck kommen. Dies erklärte zwei Rätsel: das Auftreten von Merkmalen, die Generationen überspringen, und die Aufrechterhaltung von Merkmalen, die das Überleben unterstützten (natürliche Selektion). Als er gelbe und grüne Erbsen zusammen züchtete, stellte Mendel fest, dass

die nächste Erbsengeneration einheitlich gelb war. Daher einige Merkmale äußerten sich eher als andere. Als diese Generation gekreuzt wurde, war das Ergebnis eine Gruppe von Erbsen mit gemischten Farben, was darauf hindeutet, dass Merkmale auch Generationen überspringen können. Mendels Entdeckungen ergänzten nicht nur Darwins Entdeckungen, obwohl jeder keine Kenntnis von der Arbeit des anderen hatte, sondern entlarvten auch populäre konkurrierende Theorien – wie den „Lamarckismus". Der französische Naturforscher Jean-Baptiste Lamarck hatte vorgeschlagen, dass im Laufe des Lebens erworbene Merkmale wie größere und stärkere Muskeln an die Nachkommen weitergegeben werden könnten. Im Jahr 1900 wurde der Mendelismus schließlich wiederentdeckt und immer mehr Wissenschaftler begannen, über die Evolution unter Berücksichtigung der genetischen Vererbung nachzudenken. Da die Genetik die aufregende neue Disziplin der Naturwissenschaften ist, wurde deutlich, dass durch einen Prozess spontaner Mutation neue Genvarianten entstehen. Die natürliche Selektion wirkt sich auf diese Sorten aus, indem sie die nützlichsten auswählt und behält. In den 1940er Jahren deutsch-amerikanischer Biologe Ernst Mayr zeigte, dass die Evolution bei einer Fragmentierung der Populationen von einem einzelnen Vorfahren abweichen und neue Arten hervorbringen könnte. Fossilien dokumentieren den Fortschritt der Evolution: Fischflossen verwandeln sich in amphibische Gliedmaßen, Gliedmaßen in Flügel, Säugetierglieder wieder in flossenartige Flossen und so weiter. Heutzutage beweist die DNA-Analyse zweifelsfrei, dass selbst die niedrigsten und höchsten Lebensformen denselben Ursprung haben.

View attachment 7839

ERDE KÜHLT

Die frühe Erde unterschied sich stark von dem warmen, blauen Planeten, den wir heute kennen. Seine turbulenten ersten Jahre waren von fast ständigen Kollisionen aus anderen Teilen des Sonnensystems geprägt. Zunächst ein riesiger geschmolzener Magmaball, entwickelte sich daraus nach und nach eine lebenswerte Welt.

Vor etwa 4.560 Millionen Jahren kollidierten Gestein und Eis, die die frühe Sonne umkreisten, unter der Schwerkraft zu einem kleinen, felsigen Planeten. Die Erde hätte ganz anders ausgesehen, ohne Atmosphäre und ohne Ozeane. Die Kollisionen waren noch lange nicht vorbei – unser junger Planet wurde immer noch von vielen Objekten getroffen, von denen einige so groß wie Planeten waren. Es wird angenommen, dass eine Kollision mit einem Impaktor von etwa der Größe des Mars 100 Millionen Jahre später unseren Mond geformt hat (siehe S. 82–83).

BOMBARDIERUNG DER ERDE
Die Energie dieser Kollisionen sorgte zusammen mit der Energie, die beim radioaktiven Zerfall schwererer Elemente freigesetzt wurde, dafür, dass die frühe Erde unglaublich heiß blieb. Ein Großteil seines Materials blieb geschmolzen. Dadurch konnten schwerere Materialien wie Eisen und Nickel tief in den Planetenkern vordringen. Weniger dichte, steinige Materialien wie geschmolzene Magnesium- und Siliziumoxide, schwebte an die Oberfläche. Geologen nennen diesen Prozess „Differenzierung" und er würde die Struktur der Erde stabilisieren (siehe S. 80–81).

HÖLLICHER PLANET
Die früheste Zeit der Erde galt einst als so höllisch, dass sie Hadäisches Zeitalter genannt wurde – nach Hades, dem Gott der Unterwelt. Man ging davon aus, dass ein Großteil der Erdoberfläche Hunderte Millionen Jahre lang geschmolzen blieb, doch neuere Erkenntnisse widerlegen diese Annahme und deuten darauf hin, dass sich unser Planet schneller abzukühlen begann. Es könnte weniger als 200 Millionen Jahre nach seiner Entstehung Ozeane gegeben haben, als durch vulkanische Aktivität freigesetzter Dampf zu Wasser kondensierte.

View attachment 7763

Durch die Akkretion über viele Millionen Jahre hinweg wurden immer größere Gesteins- und Eisklumpen (Planetesimale) zusammengezogen. Sie bildeten einen Planetenembryo, der dann weiteres Material anzog. Eisklumpen, die trotz der Sonnenhitze intakt blieben, wurden später zur ersten Wasserquelle auf der Erde.

DIE Hadäische Ära, in der ERDE GEFORMT UND IN WOMIT SEINE SCHICHTEN BEGONNEN STABILISIERUNG, AUFTRITT 4,6–4 BYA

View attachment 7764

View attachment 7765

View attachment 7766

TIERE DRINGEN IN DAS LAND EIN

Milliarden von Jahren lang war ein Großteil des Lebens auf Ozeane, Seen und Flüsse beschränkt. Ein solch altes aquatisches Erbe führte dazu, dass die ersten komplexen Organismen auch nur im Wasser lebten. Trockenes Land bot so viele neue Möglichkeiten, dass die Kolonisierung auf der Erde nicht nur einmal, sondern viele Male stattfand.

Es ist wahrscheinlich, dass die ersten Mikroben innerhalb einer Milliarde Jahre nach der Entstehung des Lebens in das Land eindrangen. Für diese Bakterien waren die feuchten Küstenfelsen und feuchten Sedimente dort, wo Ozeane die Küste umspülten, eine natürliche Erweiterung ihres Verbreitungsgebiets. Als Erosion und Detritus im Laufe von 3 BYA den ersten Boden bildeten, begannen Bakterien zwischen seinen Partikeln zu leben. Die ersten grabenden Organismen hätten Küstensedimente aufgewühlt und mehr organisches Material hinzugefügt, das als Nahrung für Pilze und andere Zersetzer diente. Die Böden wurden so angereichert, dass das Land im Jahr 470 MYA auch zu einem einladenden Ort für Pflanzen wurde.

LEBEN AN LAND

Oberirdisch war die Kolonisierung weniger einfach. Alle lebenden Zellen, ob ein- oder mehrzellige Organismen, müssen von Feuchtigkeit umgeben sein. Landpflanzen überlebten, indem sie eine dicke, wachsartige Außenschicht (Kutikula) entwickelten, die sowohl Wasser zurückhielt als auch Gase ein- und ausströmen ließ (siehe S. 136–137). Auch die ersten Landtiere besaßen eine Kutikula, die die gleiche wasserspeichernde Funktion erfüllte, doch es gab noch andere Herausforderungen zu bewältigen, um sich einfach fortzubewegen. Im Kambrium (541–485 MYA), marin Tiere hatten sich zu gigantischen Formen entwickelt, aber an Land war die Größe eine Belastung. Ein Körper wird im Wasser an Bojen befestigt und wiegt effektiv weniger, aber an Land kann das gleiche Tier zu schwer sein, um sich fortzubewegen. Frühe Landtiere brauchten stärkere Muskeln und unterstützende Skelette und kompensierten dieses zusätzliche Gewicht, indem sie kleiner wurden. Zunächst überlebten wurmartige Landtiere wahrscheinlich unter der Erde oder in Felsspalten, wo diese kleinen Tiere in feuchten Mikrohabitaten ihre Haut zum Atmen von Luft genutzt haben könnten. Zu den frühen Landkolonisten gehörten auch Gliederfüßer. In den Ozeanen lebten bereits prähistorische Arthropoden, Verwandte der heutigen Krabben und Spinnen. Ihre gegliederten Gliedmaßen und ihre Rüstung gaben ihnen das Potenzial, an Land erfolgreich zu sein. Fossile und DNA-Beweise deuten darauf hin, dass Tausendfüßler und Hundertfüßer Teil der ersten großen Welle von Landkolonisten waren, möglicherweise vor mehr als 500 MYA. Ihre beweglichen, gepanzerten Körper halfen ihnen, über Land zu kriechen, ohne auszutrocknen, und in dieser Panzerung entwickelten sie Atemlöcher, sogenannte Spirakel, und so bekamen sie Sauerstoff direkt aus der Luft. Tausendfüßler gehörten zu den ersten Grasfressern von Landpflanzen und Hundertfüßer zu den ersten Raubtieren des terrestrischen Ökosystems.

View attachment 7917

View attachment 7918

◀ Die ersten Schritte des Lebens Diese versteinerten Spuren, die im frühen Kambrium, 530 MYA, in Sanddünen entstanden sind, stellen die ältesten Spuren von Tieren an Land dar, die wir entdeckt haben. Sie wurden von einem Arthropoden hergestellt, der seine Zeit zwischen Land und Meer aufteilte.

Die Wälder
füllen Fossile Beweise zeigen, dass das Land bereits um 380 MYA die ersten Bäume trug. Zu Beginn der Karbonzeit (359 MYA) gab es auf der Erde reiche, sumpfige Wälder voller Leben. Pflanzen könnten aufgrund der Entwicklung härterer Pflanzen höher werden Trägermaterialien wie holziges Lignin. Wälder gaben den Landökosystemen Höhe und boten neue Nischen für baumkletternde und fliegende Tiere. Insbesondere förderten sie die größte Strahlung aller Landtiere: die Insekten. Die Evolution des Lebens an Land brachte völlig neue Tierarten mit neuen ökologischen Interaktionen hervor: netzspinnende Raubspinnen, grasende Insekten und grasende Schnecken. Was Vielfalt und Fülle angeht, konkurrierten die auf dem Land lebenden Organismen mit allem, was im Wasser der Ozeane schwamm.

View attachment 7919

TIKTAALIK ROSAE LEBTE 375 Millionen Jahre; Die ersten Fossilien wurden im Jahr 2004 entdeckt DIE KANADISCHE ARKTIS

Unsere Vorfahren
erreichen das Land Als das wirbellose Leben das Land eroberte, waren Wirbeltiere noch auf Wasserlebensräume beschränkt. Wie bei den Wirbellosen mussten sich auch die Körper der Wirbeltiere verändern, als sie zwischen 395 und 375 MYA im Devon begannen, an Land zu gehen. Fische verwenden ihre Flossenpaare zur Stabilisierung ihrer Schwimmbewegung, und obwohl einige sie auch sekundär zum „Laufen" auf dem Meeresboden nutzen, sind die Flossen bei den meisten von ihnen nicht stark genug, um Beine daraus zu formen. Eine Gruppe jedoch – die „Lappenflossen" – hatte einen Vorteil. Ein paar, Arten wie Lungenfische und Quastenflosser leben heute noch, im Devon gab es jedoch viele verschiedene Formen. Sie unterschieden sich von allen anderen Fischen dadurch, dass jedes ihrer Flossenpaare eine stärkere knöcherne Unterstützung hatte. Dank ihrer flexiblen Gelenke konnten diese Flossen zum Gehen unter Wasser verwendet werden und halfen ihnen später, aus dem Wasser aufzutauchen und über Land zu kriechen. Lappenflossenfische haben dies möglicherweise in Zeiten der Dürre getan, genau wie Lungenfische es heute tun. Als die Lappenflossen weiter an Land wanderten, entwickelten sich ihre Flossen zu Gliedmaßen mit Fingern und Zehen. Fische hatten andere Eigenschaften, die sie auf ein Leben auf der Erde vorbereiteten. Die meisten Arten verfügen über einen mit Gas gefüllten Beutel – die Schwimmblase –, der zur Kontrolle des Auftriebs dient. Modifikationen dieser Schwimmblase bei einigen modernen Fischen führen dazu, dass der Beutel direkt mit der Luft kommunizieren kann, was dem Fisch beim Atmen hilft und die Sauerstoffversorgung ergänzt, die er mit seinen Kiemen dem Wasser entzieht. Früh Die Lappenflossen, dieser neuartige Atemmechanismus, der später von Brustmuskeln wie dem Zwerchfell angetrieben wurde, entwickelten sich zur ersten luftatmenden

Lunge. Die ersten Wirbeltiere mit Lunge werden oft als Amphibien bezeichnet, aber diese längst ausgestorbenen Lebewesen sind nur entfernt mit den heutigen Fröschen und Molchen verwandt. Sie waren die ersten vierbeinigen Wirbeltiere oder „Tetrapoden" und Vorfahren aller Reptilien, Vögel usw Säugetiere sowie moderne Amphibien. Ein erstaunlich vollständiger Fossilienbestand dokumentiert den Übergang vom Fisch zum Tetrapoden über Zwischenformen, die manchmal „Fishapoden" genannt werden. Der vierbeinige, luftatmende Plan war ein großer Evolutionsschritt. Obwohl inzwischen einige Beine verloren gegangen sind oder in Arme oder Flügel umgewandelt wurden, ist es heute die Grundlage für die meisten Landwirbeltiere.

View attachment 7920

▲ Das Übergangsfossil Tiktaalik rosae ist ein Wunder der Evolution. Obwohl es einem Fisch ähnelte, war sein Hals flexibler als der echter Fische und seine Flossen waren zwar klein, hatten aber starke Gelenke, die möglicherweise sein Gewicht an Land getragen haben.

View attachment 7921

◀ Von Flossen zu Gliedmaßen Dutzende versteinerte Arten zeigen die Entwicklung von Fischen zu vierbeinigen Amphibien. Im Laufe der Zeit nehmen dieselben Knochen unterschiedliche Formen an und einige gehen ganz verloren.

View attachment 7922

View attachment 7923

Die Erde setzt sich in Schichten ab

Die Erde besteht aus verschiedenen Schichten und jede besteht aus unterschiedlichen Materialien. Die für diese Struktur verantwortlichen Prozesse begannen vor Milliarden von Jahren und prägen und beeinflussen auch heute noch unseren Planeten.

▼ Die Schichten der Erde begannen sich zwischen 4,4 und 3,8 BYA zu bilden. Unser Planet ist hier in sechs Schichten unterteilt: den festen inneren Kern, den flüssigen äußeren Kern, den halbfesten Mantel, die feste Kruste, den flüssigen Ozean und die gasförmige Atmosphäre.

View attachment 7767Hunderte Millionen Jahre nach der Entstehung des Planeten war die Erde eine geschmolzene Masse. Es zog sich immer noch aufgrund seiner eigenen Schwerkraft zusammen und Material, das von der Entstehung des Sonnensystems übriggeblieben war, bombardierte es immer noch. Bei beiden Prozessen entstand Wärme. Die Erdkruste verfestigte sich, aber der Planet differenzierte sich weiter und bildete seine heutigen Schichten.

VOM KERN ZUR ATMOSPHÄRE

Das Material in der Mitte härtet zu einem festen Innenkern aus, der von einem weitgehend flüssigen Außenkern umgeben ist. Die Flüssigkeit im äußeren Kern floss leicht, und es wird angenommen, dass Turbulenzen darin bis heute zum Erdmagnetfeld beitragen. Über dem äußeren Kern liegt die dickste Schicht – der Mantel. Die nächste Schicht, die durch aus dem Erdmantel austretendes geschmolzenes Gestein gebildet wird, ist die Kruste, die nur 0,5 Prozent der Dicke des Planeten ausmacht. Die Differenzierung setzte sich fort, als durch frühe vulkanische Aktivität freigesetzter Wasserdampf zu Wasser kondensierte und zum ersten wurde Ozeane. Das späte schwere Bombardement um 4,1–3,9 BYA (siehe S. 74–75) führte zu einem signifikanten, sekundären Anstieg der Zahl der Einschläge, die auf die Erde einschlugen. Es wird angenommen, dass diese Asteroiden und Kometen einen Großteil des Wassers hinzugefügt haben, das zu den Urmeeren beigetragen hat. Die leichtesten Stoffe – Gase – entwichen über Vulkane aus dem Erdmantel und wurden Teil der kohlendioxidreichen Atmosphäre unseres Planeten. Wasserstoff und Helium wurden vom Sonnenwind weggeblasen, aber die Schwerkraft der Erde war stark genug, um Kohlendioxid, Stickstoff, Wasserdampf und Argon festzuhalten. In der Atmosphäre fehlte gasförmiger Sauerstoff – der gesamte Sauerstoff der Erde war in den Gesteinen und im Wasser gebunden.

Das Innere der Erde erkunden

Die Tiefen unseres Planeten sind so heiß und stehen unter einem so extremen Druck, dass wir noch nie in die Erdkruste eingedrungen sind. Stattdessen haben Wissenschaftler andere Methoden verwendet, um herauszufinden, was sich im Inneren der Erde befindet. Sie wussten, dass sich im Zentrum deutlich schwereres Material befinden muss, da die durchschnittliche Dichte der Erde größer ist als die Dichte an ihrer Oberfläche. Studien zur Ausbreitung von Erdbeben und zur

Entstehung unseres Magnetfelds liefern zusätzliche Hinweise auf die innere Struktur der Erde.

▶ Seismische Wellen Vibrationen von Erdbeben sind entweder Primärwellen (P) oder Sekundärwellen (S). Die Geschwindigkeit, mit der sie sich bei seismischen Ereignissen durch den Planeten bewegen, kann dabei helfen, die Struktur der Erde zu bestimmen.

View attachment 7768

View attachment 7769

View attachment 7770

View attachment 7771

DIE ROLLE DES MONDES

Obwohl die Erde ein relativ kleiner Planet ist, ist sie mit einem besonders großen Mond gesegnet – dem fünftgrößten im Sonnensystem. Der Mond ist unser einziger natürlicher Satellit und hatte einen so großen Einfluss auf unseren Planeten, dass er möglicherweise sogar eine Rolle bei der Entstehung des Lebens auf der Erde gespielt hat.

Würde man die Existenz der Erde auf einen einzigen Tag zusammenfassen, hätte sich der Mond gebildet, als die Erde 10 Minuten alt war. Der Mond ist der treue Partner unseres Planeten und ohne ihn wären wir wahrscheinlich nicht hier. Es wird vermutet, dass in den frühen Tagen unseres jungen Planeten ein riesiges Stück Fels einschlug. Gestein aus dem Aufprall sammelte sich in der Erdumlaufbahn und bildete den Mond. Bei seiner Entstehung war es der Erde zehnmal näher als heute.

DER MOND UND DAS LEBEN

Während der Kindheit der Erde hätte die unmittelbare Nähe des Mondes eine erheblich stärkere Anziehungskraft erzeugt, als wir sie heute spüren. Die Gezeiten waren extrem, und Biologen haben spekuliert, dass das starke Aufwirbeln während dieser Superfluten ein Schlüsselfaktor für die Vermischung von Zutaten war, die zur Entstehung von Leben in den ersten Ozeanen führten. Im Laufe von Millionen von Jahren zog sich der Mond aufgrund der allmählich zunehmenden Umlaufgeschwindigkeit des Mondes von der Erde zurück. Heute ist der Mond der Haupttreiber des etwa täglichen Zyklus von Flut und Ebbe und entfernt sich weiterhin mit einer Geschwindigkeit von 3,8 cm (1,5 Zoll) pro Jahr von der Erde. Mit zunehmender Entfernung nimmt die Gezeitenstärke ab. Die Gezeiten verwirbelten die Ozeane, was dazu beitrug, die Wärme von den Polar- in die Äquatorregionen zu verteilen und so die Temperatur der jungen Erde zu regulieren. Die Schwerkraft des Mondes Außerdem bleibt die Neigung der Erdachse konstant, was bedeutet, dass unsere Jahreszeiten gleichmäßig sind und sich vorhersehbar wiederholen. Der Mond hat die Erde im Laufe der Zeit stabilisiert und dies hat dem Leben eine Chance gegeben, zu gedeihen.

AN DEN TELLEN ZIEHEN

Geologen haben spekuliert, dass die Erde aufgrund der starken Anziehungskraft des frühen Mondes der einzige Planet mit Plattentektonik ist (siehe S. 92–93). Während der höllischen Hadäer-Ära der Erde hätte unser Mond die Urmeere aus Magma angezogen. Theorien besagen, dass der Druck des Mondes auf das abkühlende flüssige Gestein dazu beigetragen hat, es in die verschiedenen Krustenstücke zu zerlegen, die unser Planet heute besitzt.

▼ Extreme Gezeiten Die Bay of Fundy an Kanadas Atlantikküste verfügt über die größten Gezeitenbereiche der Erde. Das Wasser steigt und fällt zweimal täglich um bis zu 16 m (52 ft) und überschwemmt dabei regelmäßig die Hopewell Rocks.

View attachment 7772

View attachment 7773

EVOLUTION VERWANDELT DAS LEBEN

View attachment 7999

Evolution geschieht durch kleine Veränderungen in den Genen. Diese Veränderungen werden von einer Generation zur nächsten vererbt und können sich über Millionen von Jahren verstärken. Es kann viel Zeit vergehen, bis neue Arten – mit neuen Lebensweisen – entstehen.

Manche Organismen vermehren sich so schnell, dass ihre evolutionären Veränderungen direkt beobachtet werden können. Resistenzen gegen Antibiotika können beispielsweise durch Bakterien verbreitet werden, deren Zahl sich alle halbe Stunde verdoppelt. Aber um Veränderungen bei Lebewesen zu untersuchen, die sich langsamer vermehren und sich über viel längere Zeiträume entwickeln, müssen Wissenschaftler Beweise aus mehreren Quellen – wie Genen, Anatomie und Fossilien – untersuchen, um herauszufinden, wie die Evolution das Leben auf der Erde im Laufe der Zeit geformt hat .

VERÄNDERUNG UND ABWEICHUNG

Die natürliche Selektion nutzt die durch Mutation erzeugte Variation, um eine Anpassung herbeizuführen (siehe S. 108–109). Über viele Im Laufe der Evolution verändern sich Organismen in ihrer Anatomie und ihrem Verhalten so sehr, dass sie möglicherweise nicht mehr wiederzuerkennen sind. Populationen spalten sich, wenn sich Landschaften bewegen und Lebensräume kommen und gehen – wodurch unterschiedliche Gruppen unterschiedliche Wege einschlagen, was zur Entwicklung verschiedener Arten führen kann. Bei Wirbeltieren kann dies einige Millionen Jahre dauern, bei sich schnell vermehrenden Mikroben kann es jedoch noch innerhalb unseres Lebens geschehen.

Den Beziehungen auf der Spur Die Analyse

der chemischen Sequenz von Genen hilft, die Beziehungen zwischen Arten aufzudecken (siehe S. 172–73). Diese Analyse zeigt beispielsweise, dass der Mensch den Schimpansen – einer „Schwesterart" – am nächsten steht, aber weiter entfernt mit den Gibbons verwandt ist, deren Gene weniger Ähnlichkeit mit unseren haben. Gene zeigen, dass Wale – Wale, Delfine und Schweinswale – einen gemeinsamen Vorfahren mit den Flusspferden haben und daher aus der Gruppe der Hufsäugetiere stammen. Wissenschaftler können die Rate zufälliger genetischer Veränderungen abschätzen, die sich im Laufe der Zeit durch Mutationen ansammeln, und eine „molekulare Uhr" entwickeln, um ungefähr zu berechnen, wann Arten divergieren.

Nilpferde gebären und Säugen Sie ihre Nachkommen UNTER WASSER, GENAU WIE IHRE NÄCHSTE LEBENDEN VERWANDTE – WALE UND DELFINE

Mithilfe dieser molekularen Uhr kommen sie zu dem Schluss, dass die Vorfahren der Wale und Flusspferde vor 50 bis 60 Millionen Jahren auseinander gingen. Gene liefern nur einen Teil des Bildes. Sie können niemals zeigen, wie Vorfahren aussahen, und dazu verlassen sich

Wissenschaftler auf Fossilien. Fossilien zeigen, wie sich die Anatomie prähistorischen Lebens im Vergleich zu heute lebenden Arten verhält. Obwohl ihre eigene DNA degradiert ist, kann ihre Anatomie – selbst wenn sie fragmentarisch ist – wichtige Zusammenhänge offenbaren. Fossilien können datiert werden, was hilft, festzustellen, wann wichtige Ereignisse stattgefunden haben, und die molekulare Uhr zu unterstützen. Wissenschaftler können nie sicher sein, dass versteinerte Lebensformen die direkten Vorfahren lebender Lebensformen sind, aber ihre relative Position im Stammbaum des Lebens kann durch Beweise eindeutig belegt werden. Dutzende fossiler Tiere bilden die Grundlage des Stammbaums der Wale – Dutzende Millionen Jahre vor den modernen Walen. Sie helfen nicht nur zu zeigen, wie sich aus Laufgliedern Schwimmflossen entwickelten, sondern anhand chemischer Analysen sogar, ob die Tiere in Süß- oder Salzwasser lebten. Nach 4 Milliarden Jahren Evolution ist die Erde reich an Millionen unterschiedlicher Arten – und viele weitere haben in der Vergangenheit gelebt und sind ausgestorben. Alles auf dem großen Baum des Lebens ist mit der Vergangenheit und miteinander verbunden.

▼ Vom Land zum Meer Die Entwicklung der Wale von einem landbasierten Vorfahren ist ein Beispiel für groß angelegte genetische Veränderungen im Laufe von Millionen von Jahren.

View attachment 8000

View attachment 8001

▼ Evolutionsweg Anatomische und DNA-Beweise deuten darauf hin, dass sich Wale und Delfine aus Huftieren entwickelt haben und dass das Nilpferd ihr nächster lebender Verwandter ist. Zahlreiche fossile Arten ergänzen ihr Cladogramm mit Details.

View attachment 8002

> “ MENSCHEN SIND... EIN KLEINER ZWEIG IM ENORMEN Baumartiger Strauch des Lebens... Wenn er aus Samen neu gepflanzt wird, WÜRDE DIESEN ZWEIG MIT FAST SICHERHEIT NICHT WIEDER WACHSEN.
>
> Stephen Jay Gould, Paläontologe, 1941–2002

View attachment 8003

Naturalists have been classifying living things for as long as they have been trying to understand them. Early groupings were wholly guided by specific needs. For example, apothecaries classified plants according to their medicinal properties.
Ancient Greek thinker Aristotle classified plants and animals along his scala naturae, or "ladder of life", imbuing each kind with a "degree of perfection", between base minerals at the bottom and God at the top. Some of Aristotle's categories, such as vertebrates and invertebrates, are still used

today, but his belief that each type of organism had an ideal form – an "essence" – pervaded biological thought until the time of Charles Darwin (1809–82), and hampered notions of evolution based on natural variation (see pp.110–11).

DARWIN SKIZZE EINEN BAUM LEBEN IM JAHR 1837, 100 JAHRE VORHER SIE WURDEN GEMEINSAM

THE EARLY NATURALISTS

From the 16th century, botany and zoology moved forward as new researchers made first-hand observations, instead of relying on the received wisdom of ancient philosophers. Renaissance anatomists, such as Andreas Vesalius (1514–64), explored the human body by dissection, and 100 years later, the newly-invented microscope opened up a world of cells and microbes. Naturalists came to devise their own classification systems and made more meaningful comparisons based on accurate knowledge of anatomy. English naturalist John Ray (1627–1705), for instance, recognized that whales were mammals and not fish. He wrote exhaustively on plants and animals and he was the first observer to devise the concept of a biological species: an organism that reproduced always to result in the same form. As more species were being discovered though, they lacked a standard naming system – however, one Swedish botanist was about to change that.

DIE KONTINENTE WERDEN GEBOREN

> “DIE MÖGLICHKEIT VERDIENT ERWÄGUNG, DASS DIE Die Entstehung des Mondes ... provozierte den Ursprung VOM LEBEN AUF DER ERDE.
>
> Richard Lathe, Molekularbiologe, c.1950–

▼ Anziehungskraft des Mondes Die Anziehungskraft des Mondes erzeugt Gezeitenwölbungen auf beiden Seiten der Erde. Auf der dem Mond zugewandten Seite zieht die Schwerkraft des Mondes die Ozeane zu sich heran, was zu Fluten führt. Neben der Anziehung übt die Schwerkraft jedoch auch eine Dehnungskraft auf die Erde aus. Entgegen der Intuition führt dies zu einer zweiten Flut, die vom Mond abgewandt ist.

View attachment 7774

View attachment 7775

View attachment 7776
Irgendwann um 4 v. Chr. begann sich die Erdkruste zu bewegen und drückte einen Teil der Erdkruste in den Erdmantel. Magma brach aus und erkaltete zu einer neuen, leichteren Kruste – der kontinentalen Kruste. Es ragte höher als das umgebende Gestein und bildete die ersten Landmassen. Der Prozess setzt sich bis heute fort: 30 Prozent der Oberfläche unseres Planeten bestehen mittlerweile aus Kontinenten.

View attachment 7777**Die Urkruste**
bedeckte zunächst die Erde. Als zwei Platten der sich bewegenden Kruste frontal aufeinandertrafen, wurde eine davon nach unten gedrückt. Im Mantel schmolzen zunächst die leichteren Materialien und diese sprudelten an die Oberfläche.

Vor den Kontinenten gab es Kratons – die Setzlinge, aus denen größere Landstriche wuchsen. Kratone wiederum bestanden aus Inselketten, die aus der ersten kontinentalen Kruste entstanden. Der Prozess begann in der archaischen Ära (4–2,5 v. Chr.). Obwohl sich die Erde seit der Hadäischen Ära abgekühlt hatte, war der Planet immer noch viel heißer als heute. Allerdings hatten sich die Erdschichten abgesetzt und auf einer festen Kruste hatten sich Ozeane gebildet. Heutzutage besteht die Erdkruste sowohl aus schwerer ozeanischer Kruste als auch aus kontinentaler Kruste, die leichter und dicker ist. Die Urkruste war gleichmäßig, aber als Strömungen im Erdmantel begannen, an ihrer Unterseite zu ziehen (siehe S. 92–93), begann sie sich zu bewegen und spaltete sich in Platten auf. Beim Zusammenstoß dieser Platten wurde eine

Platte unter die andere gedrückt. Dies löste eine weitere Differenzierungsstufe aus, in der ein Teil der Urkruste schmolz und leichteres Material entstand, das an die Oberfläche schwebte, sich verfestigte und Inseln bildete. Über Millionen von Jahren wurden die Inseln durch die Bewegung der Erdkruste zu Kratonen – kleinen Protokontinenten – zusammengeschoben. Schließlich kollidierten diese Kratons und verschmolzen, um immer größere Landmassen zu bilden – die ersten Kontinente.

Movements of Earth's
crust pushed adjacent islands together and formed progressively larger masses of light rock called cratons.
But two more processes were at work: heavy material rose to the surface where cratons split, and new heavy, oceanic crust was also created where plates separated in oceans.

View attachment 7778

Die ersten Kontinente
bildeten sich schließlich aus kollidierenden Kratonen und Inseln. Da sie leicht waren, blieben sie an der Oberfläche, setzten sich aber aus einer wachsenden Gesteinsvielfalt zusammen. Da die ozeanische Kruste schwerer ist, wird sie kontinuierlich subduziert und wird nie alt und komplex. An den sich ausbreitenden Graten wird sie durch neue Kruste ersetzt.

View attachment 7779

View attachment 7780

DER ERSTE SUPERKONTINENT
Am Ende des Archaikums, 2,5 v. Chr., bestand die Erdoberfläche aus 80 Prozent der heutigen Landmasse, die größtenteils zu einem Superkontinent namens Vaalbara zusammengefasst war. Vaalbara entstand durch die Kollision der Kratons Kaapvaal und Pilbara. Diese überleben heute, aber Kaapvaal liegt jetzt in Südafrika und Pilbara in Australien, und beide haben es Gesteine datiert auf 3,6–2,7 BYA. Tatsächlich wissen wir jetzt, dass diese Landmassen mehr als einmal geteilt und wieder zusammengefügt wurden (siehe S. 158–59) und dass die Kratons, die die ersten Kontinente bildeten, jetzt über die modernen Kontinente verstreut sind. Auch wenn sich die Kontinente verändern, bleiben Kratone ihr stabiler Kern. Die Kontinentbildung ist noch im Gange. Die ozeanische Kruste subduziert weiterhin unter der anderen ozeanischen Kruste, was dazu führt, dass Magma an die Oberfläche drängt und in Bögen vulkanischer Inseln abkühlt – beispielsweise in der Karibik.

DER ÄLTESTE KONTINENT Dessen Felsen noch existieren HEUTE HEISST NACH „UR". DIE ALTE SUMERISCHE STADT

View attachment 7781

◀ Nishinoshima Im Jahr 2013 wurde vor der Küste Japans eine neue Insel entdeckt. Es entstand, als Lava in einem Ausbruch vulkanischer Aktivität die Erdkruste durchbrach und dann abkühlte, was demselben Prozess folgte, der vor 4 BYA die Kontinente schuf.

View attachment 7782

View attachment 7783

> “DIE KERN DER KONTINENTE... BILDEN DAS STABILE LITHOSPHÄRE. IHRE BILDUNG... Geschah vor Milliarden von Jahren
>
> Nicholas Wigginton, Science editor, c.1970–

View attachment 7784

DATIEREN SIE DIE ERDE

Die Frage nach dem Alter der Erde wurde erst in den letzten Jahrzehnten geklärt. Mit zunehmendem Wissen und der Verbesserung wissenschaftlicher Techniken stiegen die Schätzungen über das Alter unseres Planeten von Tausenden von Jahren auf Milliarden. Wir wissen jetzt, dass die Erde etwa 4,54 Milliarden Jahre alt ist.

Es war nicht immer klar, dass die Erde überhaupt einen Ursprung hatte. Antike griechische Philosophen, darunter Aristoteles, glaubten, dass unser Planet ewig sei – er war schon immer hier und wird immer sein. Die meisten Zivilisationen hatten ihre eigenen Ursprungsgeschichten (siehe S. 18–19), und vor dem Aufkommen der modernen Wissenschaft waren religiöse Texte die Hauptquellen für Ideen über den Ursprung der Erde. Im Jahr 1645 verwendete der irische Bischof James Usher die Genealogie in der Bibel, um das Datum der Erschaffung der Erde auf den 23. Oktober 4004 v. Chr. zu berechnen.

FRÜHE WISSENSCHAFTLICHE IDEEN

Nicht jeder glaubte an die Idee einer jungen Erde. Bereits im 16. Jahrhundert argumentierte der französische Denker Bernard Palissy, dass die Erde viel älter als ein paar tausend Jahre sein müsse, wenn die Erosion von Gesteinen durch den allmählichen Einfluss von Wind und Regen verursacht werde. Der französische Naturhistoriker Benoît de Maillet versuchte zu erklären, warum Meeresfossilien in großen Höhen gefunden wurden, indem er fälschlicherweise schlussfolgerte, dass der Meeresspiegel der Erde in der Vergangenheit viel höher gewesen sein muss. Dies geschah lange vor der Entdeckung der Plattentektonik (siehe S. 90–91). Diese Idee der Erosionsraten wurde vom schottischen Geologen James Hutton erneut aufgegriffen im späten 18. Jahrhundert, als sich die Stimmung in Richtung eines größeren Zeitalters für den Planeten zu drehen begann. Hutton argumentierte, dass der Hadrianswall, obwohl er mehr als 1.000 Jahre zuvor von den Römern in England erbaut wurde, kaum erodiert sei. Andere Gesteine, die erheblich erodiert waren, müssen daher schon viel länger vorhanden gewesen sein. Hutton stellte außerdem fest, dass Gesteinsschichten nicht kontinuierlich, sondern in einzelnen Ablagerungsepisoden abgelagert wurden, was zu „nicht konformen" Schichten führte, deren Bildung Millionen und nicht Tausende von Jahren gedauert hätte. Der viktorianische Geologe Charles Lyell stimmte Hutton zu, betonte jedoch die Vorstellung, dass sich die Erde in einem Zustand langsamer, ständiger Veränderung befinde. In der Neuzeit beobachtete Änderungsraten könnten dann verwendet werden, um Änderungsraten in der Vergangenheit abzuschätzen.

▼ Hinweise in den Gesteinen Eine Skizze von Gesteinsschichten in Jedburgh, Schottland, aus dem Jahr 1787 zeigt horizontale Gesteinsschichten, die auf vertikalen Schichten liegen, jeweils aus unterschiedlichen Epochen. Diese Diskordanz diente dem Geologen James Hutton als Beweis dafür, dass die Erde sehr alt war.

View attachment 7785

Die Debatte intensiviert sich

Mitte des 19. Jahrhunderts nahmen die Versuche, das Alter der Erde zu bestimmen, Fahrt auf, und

Wissenschaftler aus vielen verschiedenen Disziplinen erstellten Schätzungen. Im Jahr 1862 stellte sich der Physiker William Thompson (später Lord Kelvin) unseren jungen Planeten als eine Kugel aus geschmolzenem Gestein vor und berechnete, wie lange es gedauert hätte, bis er auf seine heutige Temperatur abgekühlt wäre, und kam auf 20–400 Millionen Jahre. Er berücksichtigte nicht die Wirkung der Radioaktivität, ein Phänomen, das noch entdeckt werden musste. Lyell kritisierte seine Ideen als zu konservativ und unvereinbar mit dem, was er über die Ablagerung von Gesteinsschichten gelernt hatte. Charles Darwin beteiligte sich an der Debatte und stellte in „On the Origin of Species" fest, dass die Erde mindestens 300 Millionen Jahre alt sein muss, damit die Kreidevorkommen in England durch Erosion ihren heutigen Zustand erreicht haben. Charles' Sohn, der Astronom George Darwin, glaubte, dass der Mond aus der Erde entstanden sei. Wenn ja, so schlussfolgerte er, hätte es mindestens 56 Millionen Jahre gedauert, bis der Mond seinen Strom erreicht hätte Distanz. Bis zum 20. Jahrhundert war der allgemeine Konsens über das Alter der Erde von Tausenden von Jahren auf Dutzende, wenn nicht Hunderte von Millionen Jahren angestiegen.

View attachment 7786

▲ Gefährliche Überzeugungen Bernard Palissy (1509–1589) arbeitete die meiste Zeit seines Lebens als Töpfer, war aber auch Wissenschaftler. Er brachte seine damals radikale Überzeugung zum Ausdruck, dass Fossilien prähistorische Tiere seien und nicht aus der biblischen Sintflut stammten. Die französischen Behörden ließen ihn schließlich inhaftieren.

DAS ZEITALTER DER RADIOAKTIVITÄT

Erst die Entdeckung der Radioaktivität durch Henri Becquerel im Jahr 1896 ermöglichte es Wissenschaftlern, konkrete Hinweise auf das Alter der Erde zu finden. Der Zerfall radioaktiver Atome in Gesteinen erfolgt über Millionen von Jahren, und der Anteil der verbleibenden instabilen Atome kann gemessen werden, um das Alter des Gesteins zu ermitteln (siehe S. 88–89). In den nächsten 30 Jahren nutzten viele Wissenschaftler die radiometrische Datierung, um Gesteine aus aller Welt zu analysieren – wobei sie ein Alter zwischen 92 Millionen Jahren und 3 Milliarden Jahren erreichten. In den 1960er Jahren begann die Zahl der Möglichkeiten, Radioaktivität zur Datierung von Gesteinsproben zu nutzen, zu steigen. Die Präzision dieser Techniken und die Genauigkeit der berechneten Altersstufen nahmen stetig zu. Wir wissen jetzt, dass die Erde seit fast 4,54 Milliarden Jahren existiert, also mehr als 50 Millionen Jahre. Diese Zahlen werden durch das Alter der Meteoriten gestützt, von denen wir glauben, dass sie etwas älter als die Erde sind.

VERSTEINERTE BÄUME AUF A PRÄHISTORISCHER MEERESGRUND 1.800 m (5.900 Fuß) HOCH IN DEN ANDEN ÜBERZEUGT CHARLES DARWIN DIESE ERDE WAR SEHR ALT

View attachment 7787

▼ Geschichte in den Felsen Felsen wie dieser Kalkstein an einer griechischen Küste mit ihrer offensichtlich langen Geschichte der Ablagerung, gefolgt von Zerfall und Erosion waren die Art von Beweisen, die im 18. und 19. Jahrhundert den Pioniergeist prägten Geologen denken über die Zeit nach, die für geologische Veränderungen erforderlich ist.

> IN BEZUG AUF DIE MENSCHLICHE BEOBACHTUNG, DIESE WELT HAT WEDER EINEN ANFANG NOCH EIN ENDE.
>
> James Hutton, Geologe, 1726–1797

View attachment 7788

Harte Beweise | ZIRKON-KRISTALL

Einige alte Kristalle haben 4,4 Milliarden Jahre auf der Erde überlebt. Ihre Beständigkeit bietet eine hervorragende Gelegenheit, die Geschichte unseres Planeten zu erforschen und mehr über die Ursprünge des Lebens und die ersten Ozeane zu erfahren.

Die Jack Hills in Westaustralien beherbergen das älteste Material, das jemals auf der Erde gefunden wurde. Diese winzigen Zirkonkristalle sind jeweils nur so groß wie eine Staubmilbe und bergen dennoch die Geheimnisse der turbulenten Kindheit unseres Planeten. Die ältesten Kristalle stammen aus dem Jahr 4,4 v. Chr. – 100 Millionen Jahre nachdem ein riesiger Einschlag die Erde getroffen und den Mond geschaffen hat – was bedeutet, dass die feste Erdkruste, in der sie entstanden sind, mindestens genauso alt sein muss. Zirkon ist ein Mineral, das das Element Zirkonium enthält. Es hat eine ähnliche Härte wie Diamant, sein berühmterer Cousin – was bedeutet, dass Zirkonkristalle Erosion und andere geologische Prozesse überstehen können, was sie zu einem hervorragenden Aufzeichnungsträger der Erdgeschichte macht. Normalerweise sind Zirkonkristalle rot, aber wenn Wissenschaftler sie zu Untersuchungszwecken mit Elektronen beschießen, nehmen sie einen blauen Farbton an. Die Analyse dieser Kristalle untergräbt frühere Vorstellungen über die Bedingungen auf der frühen Erde. Lange Zeit glaubte man, die Kindheit unseres Planeten sei eine Höllenlandschaft zu heftig, um flüssiges Wasser und Leben zu beherbergen, aber die Meinungen wandeln sich allmählich zu einer Erde, die relativ schnell abgekühlt ist, weil die Kristalle diese kühlen Bedingungen zur Bildung benötigten.

Kristallzusammensetzung
Bei der radiometrischen Datierungsanalyse wird ein Gerät namens Massenspektrometer verwendet. Die Gesteinsprobe wird in Atome zerlegt, anschließend werden die Atome ionisiert (mit einer elektrischen Ladung versehen). Während die Ionen das Gerät passieren, werden sie von Magneten nach ihrer Masse sortiert, da die Magnete leichtere Ionen leichter ablenken. Dadurch können die verschiedenen Ionen der Probe identifiziert und ihre genauen Anteile gemessen werden, um das Alter des Gesteins zu bestimmen.

View attachment 7789

Massenspektrometer View attachment 7790

View attachment 7791

View attachment 7792Hinweise auf frühe Ozeane

Durch den Vergleich des Verhältnisses der Sauerstoffisotope in den Zirkonkristallen von Jack Hills kamen Wissenschaftler zu dem Schluss, dass es möglicherweise schon vor 4,4 Milliarden Jahren Ozeane aus flüssigem Wasser auf der Erde gab. Isotope sind Versionen eines Atoms mit unterschiedlichem Atomgewicht. Das in den Kristallen gefundene Verhältnis von Sauerstoff-18- zu Sauerstoff-16-Isotopen weist auf das Vorhandensein von flüssigem Wasser hin.

Erde im Archaikum, 3,5 BYA

Lebenszeichen

Bis vor 3,8 Milliarden Jahren galt die Erde früher als unwirtlich, doch die Isotopenanalyse von Graphitflecken, die in Zirkonkristallen vor 4,1 Milliarden Jahren gefunden wurden, legt nahe, dass es zu dieser früheren Zeit Leben gab. Graphit besteht aus Kohlenstoff, und das Verhältnis von Kohlenstoff-12- zu Kohlenstoff-13-Isotopen im Graphit ist charakteristisch für das Verhältnis, das von lebenden Organismen erzeugt wird.

View attachment 7793Schutz der Kristalle

Seit den 1980er Jahren wurden in den Jack Hills rund 200.000 Zirkone ausgegraben, und 10 Prozent davon sind mehr als 3,9 Milliarden Jahre alt. Die Geologie des Gebiets ist so wichtig, dass die australische Regierung die Region zum Geokulturerbe erklärt hat, um sie vor zukünftigen Bergbauaktivitäten zu schützen und ihre wissenschaftlichen Schätze zu bewahren.

Jack Hills, Australia

View attachment 7794

View attachment 7795

WIE SICH DIE ERDKRUSTE BEWEGT

Die Oberfläche unseres Planeten wird durch extrem langsame Konvektionsströme in der darunter liegenden Mantelschicht geformt. Das Plattentektoniksystem der Erde unterscheidet sie von den anderen Gesteinsplaneten im Sonnensystem, da sich ihre Oberfläche ständig verändert und eine lebendige geologische Aktivität herrscht.

Die Erdoberfläche, die Erdkruste, besteht aus sieben großen tektonischen Platten – der afrikanischen, antarktischen, eurasischen, nordamerikanischen, südamerikanischen, pazifischen und indoaustralischen – sowie mehreren kleineren. Diese festen Platten schwimmen auf einer halbfesten Schicht, dem Mantel. Platten bewegen sich unglaublich langsam, typischerweise etwa so schnell, wie Fingernägel oder menschliches Haar wachsen. Seit sich die Erdschichten vor 4 BYA stabilisiert haben, sind diese Platten ständig in Bewegung.

▼ Vulkanausbruch Der Vulkan Eyjafjallajökull in Island stößt geschmolzenes Magma sowie schwarze Aschewolken aus, die als zusätzliche Schichten auf der Erdkruste auf den Boden fallen.

View attachment 7803

DIE OBERFLÄCHE DER ERDE BEWEGT SICH

Konvektionsströme im Mantel werden durch Wärme im Kern erzeugt, die in den Mantel gelangt. Obwohl der Mantel fast fest ist, fließt er langsam, zerrt an der Basis der Kruste und bewegt die Platten. Es gibt zwei Arten von Krusten: ozeanische Kruste, die aus dichtem Gestein besteht, das reich an Magnesium und Eisen ist, und kontinentale Kruste, die aus Gestein mit leichteren Elementen wie Aluminium besteht. Wenn der Rand einer Platte aus ozeanischer Kruste besteht, führt ihre größere Dichte dazu, dass sie unter die leichtere Kruste subduziert oder darunter rutscht. Anschließend sinkt es tief in den heißen Erdmantel, wodurch geschmolzenes Magma aufsteigt, das wie ein Vulkan die Oberfläche der Erdkruste durchbricht.

TEKTONISCHE PHÄNOMENE

Wo Platten aufeinandertreffen, kann es zu unterschiedlichen tektonischen Aktivitäten kommen, die genauen Auswirkungen hängen jedoch vom Krustenmaterial und der Bewegungsrichtung ab. Es gibt drei Haupttypen von Plattengrenzen: Transformationsgrenzen, bei denen Platten aneinander vorbeigleiten oder schleifen; divergierende Grenzen, an denen sie auseinandergleiten und es dem Magma ermöglichen, zu einer neuen Kruste abzukühlen; und konvergente Grenzen, an denen zwei Platten frontal kollidieren. Teile der Kruste sinken und schmelzen an Subduktionszonen, aber neue Kruste entsteht anderswo durch Vulkane und an mittelozeanischen Rücken, wo die ozeanische Kruste auseinanderläuft. Erdbeben, plötzliche Bewegungen der Erdkruste, treten an Plattengrenzen auf. An divergenten und transformierten Grenzen sind sie tendenziell flach, wohingegen Kollisionen an konvergenten Grenzen die tiefsten Erdbeben verursachen. Wenn zwei Platten kollidieren, können sie die Kontinentalkruste nach oben drücken und eine Bergkette wie den Himalaya bilden. Diese besonderen Berge entstanden, als die Indische Platte vor etwa 50 Millionen Jahren auf die

Eurasische Platte prallte.

View attachment 7804▶ Dynamische Oberfläche Die Erdkruste verändert sich ständig, wenn sich die Platten bewegen, unterstützt durch Strömungen im darunter liegenden Mantel. Abhängig davon, wie die Platten interagieren, können Erdbeben auftreten und sich Vulkane und Gebirgsketten bilden.

View attachment 7805

View attachment 7806

> “KONTINENTALE DRIFT... ERDBEBEN, VULKANISITÄT... SIND zweifelsohne VERBUNDEN IM GROSSEN MAßSTAB.
>
> Alfred Wegener, Geologe und Meteorologe, 1880–1930

View attachment 7807

Harte Beweise | MEERESBODEN

Der Meeresboden ist in vielerlei Hinsicht ein Leitfaden für die Erdgeschichte – seine Untersuchung hilft uns, die Geheimnisse der Vergangenheit unseres Planeten zu entschlüsseln. Seine Erforschung hat Wissenschaftlern sogar Hinweise auf die Entstehung des Lebens gegeben. Die Kartierung des Meeresbodens offenbart eine vielfältige, aktive Landschaft voller tektonischer Phänomene.

Die Tiefen des Ozeans sind kalt, dunkel und unglaublich lebensfeindlich. An der tiefsten Stelle drücken 1,2 Tonnen Wasser auf jeden Quadratzentimeter (8,4 Tonnen pro Quadratzoll). Solche Extreme führen dazu, dass Ozeanographen den Meeresboden mithilfe von Sonaraufnahmen von der Oberfläche aus abbilden. Für uns ist es einfacher, Bilder vom Mars zu bekommen, als Teile unseres eigenen Meeresbodens zu kartieren. Trotz seiner Unzugänglichkeit birgt der Meeresboden Hinweise, die für das Verständnis der Entwicklung der Erdkruste und auch des Lebens von entscheidender Bedeutung sind. Die Erforschung der Tiefsee schärft unsere Vorstellungen zur Plattentektonik (siehe S. 90–91). Das chemikalienreiche Material und die Hitze, die von Unterwasservulkanen auf dem Meeresboden erzeugt wird, haben Biologen zu der Annahme veranlasst, dass in diesen Gebieten die ersten Lebensformen auftauchten (siehe S. 106–107). Die tiefsten Stellen des Meeresbodens befinden sich dort, wo zwei ozeanische Platten aufeinandertreffen und ein Unterwassertal bilden – eine Platte schiebt sich unter die andere (subduziert sie unter) und bildet einen V-förmigen Graben. Der tiefste Meeresgraben ist der Marianengraben im Pazifischen Ozean: Sein tiefster Punkt liegt 10.994 m (36.070 Fuß) unter dem Meeresspiegel. Es könnte den Mount Everest aufnehmen, wobei etwa 2.000 m (6.560 Fuß) Wasser übrig blieben. Der Puerto-Rico-Graben im Atlantischen Ozean hat eine Tiefe von mehr als 8.400 m (27.560 Fuß). Die Unterwassergrenze zwischen der Karibik und dem Norden Die amerikanischen Platten, auf denen sich der Puerto-Rico-Graben befindet, sind ein besonders aktiver Bereich des Meeresbodens. Seine einzigartige Plattengrenze und seine ungewöhnlichen Phänomene stellen eine reichhaltige Ressource für die wissenschaftliche Forschung dar: Ozeanographen, Biologen, Seismologen (die Erdbeben untersuchen) und Bathymetriker (die das Unterwassergelände von Seen und Ozeanen untersuchen) arbeiten alle hier in der Hoffnung, die Geheimnisse der Platten zu entschlüsseln Meeresboden.

▶ Hinweise auf den Meeresboden Magma aus dem Mantel durchbricht die Kruste und treibt tektonische Platten auseinander (siehe S. 92–93). Während das Magma abkühlt und eine neue Kruste bildet, orientieren sich die Mineralien im Magma entlang des Erdmagnetfelds. Aus unbekannten Gründen kehrt sich die Nord-Süd-Polarität der Erde von Zeit zu Zeit um, und über Millionen von Jahren werden diese Umkehrungen als eine Reihe von Streifen in den Meeresboden geätzt.

View attachment 7808Wie Sonarvermessungen funktionieren
Multibeam-Sonar zeichnet die Zeit auf, die der Schall benötigt, um vom Meeresboden zurückzuprallen, um die Meerestiefe zu messen. Ozeanographen können diese Daten nutzen, um

eine farbige Karte des Meeresbodens zu erstellen, die dessen Gelände zeigt. Side-Scan-Sonar ist insofern genauer, als die Intensität seiner Echos erkennen lässt, ob der Meeresboden felsig (stark) oder sandig (schwach) ist. Marie Tharp und Bruce Heezen kartierten in den 1950er Jahren den Meeresboden der Erde (siehe S. 90–91).

Marie Tharp, Ozeanograph

View attachment 7809

View attachment 7810

FORM DER ZUTATEN DES LEBENS

Die Erdkruste besteht aus Dutzenden chemischen Elementen, aber nur einige – darunter Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff – sind der Stoff für Lebewesen. Ihre Atome verbinden sich zu komplexen Molekülen und es war diese Art chemischer Zusammenbau, der die Entstehung des Lebens beschleunigte.

Die Erde hat einen Eisenkern, der von überwiegend siliziumhaltigem Gestein umgeben ist. Kohlenstoff ist vergleichsweise knapp, aber alles bekannte Leben basiert auf Kohlenstoff. Sowohl Silizium- als auch Kohlenstoffatome verbinden sich stark mit anderen, aber während die Affinität von Silizium hauptsächlich zu Sauerstoff besteht (aus dem Siliziumdioxid besteht, das in den Gesteinen der Erde vorherrscht), ist Kohlenstoff vielseitig. Es verbindet sich mit anderen Elementen wie Wasserstoff, Stickstoff und Phosphor. Komplexes Leben braucht komplexe Moleküle. Die Erde – deren Gesteine nach ihrer gewaltsamen Geburt immer noch abkühlten und flüssiges Wasser in den ersten Ozeanen kondensierte – bot genau die richtigen Bedingungen für ihre Entstehung. Die erste Erdatmosphäre war voller nicht atembarer Gase wie Kohlendioxid, Wasserstoff, Stickstoff und Wasserdampf – aber diese waren Quellen der Lebenselemente. In einer Welt ohne Sauerstoffgas, mit dem es reagieren kann, Wasserstoff verbindet sich mit anderen Elementen und bildet Methan (CH_4) und Ammoniak (NH_3). 1953 simulierten die amerikanischen Chemiker Stanley Miller und Harold Urey im Labor die frühe Erde mit elektrischen Funken, um Blitze zu imitieren. Sie zeigten, dass die Chemikalien in der Erdatmosphäre mit ausreichend Wärme und Energie einfache organische Moleküle bilden können – lebensspendende Chemikalien auf Kohlenstoffbasis.

NOCH GRÖSSERE MOLEKÜLE

Aber das Leben brauchte mehr – Proteine, das sind lange Ketten aus Aminosäuren, und DNA. Heutzutage würden eiweißreiche Teiche von hungrigen Organismen gesäubert werden. Aber die frühe Erde war durch Wärme mit Energie versorgt und voller Mineralien, die als Katalysatoren fungierten und bestimmte chemische Reaktionen ankurbelten. Riesige Moleküle könnten lange genug überleben, um in Membranen – den Vorläufern der ersten Zellen – eingeschlossen zu werden.

View attachment 7816▶ Rezept für Leben Kleine Moleküle mit weniger als einem halben Dutzend Atomen waren auf der neu entstandenen Erde reichlich vorhanden. Sie reagierten und bildeten größere organische Moleküle mit einem „Skelett" aus gebundenen Kohlenstoffatomen, die sich wiederum zu langkettigen Molekülen verbanden.

▼ Das Leben verpackt Die Chemikalien, die das Leben schufen, brauchten Kompartimente, in denen sie konzentriert werden konnten. Diese könnten durch ölige Moleküle, sogenannte Phospholipide, bereitgestellt worden sein (heute in allen Zellmembranen vorhanden), die sich auf natürliche Weise im Wasser zu Membranen zusammenlagern. Wenn sie Kugeln bilden, können sie die lebensspendenden Chemikalien darin einschließen.

View attachment 7817

View attachment 7818

View attachment 7819

View attachment 7820

SCHWELLE 6

MENSCHEN EVOLVE

Was macht den Menschen einzigartig, da er wie alles andere seinen Ursprung in den Sternen hat und mit den anderen Affen einen gemeinsamen Vorfahren hat? Der Mensch verfügt wie keine andere Spezies über die Fähigkeit, Innovationen hervorzubringen, zu lernen und Erfahrungen auszutauschen. Durch den Einsatz symbolischer Sprache und durch den gemeinsamen Austausch und Ausbau von Wissen beginnen unsere menschlichen Vorfahren, die Landschaft zu dominieren.

GOLDILOCKS-BEDINGUNGEN
Der moderne Mensch entwickelte sich erst vor relativ kurzer Zeit, vor etwa 200.000 Jahren. Die Fähigkeit, mithilfe von Symbolen zu kommunizieren, Ideen auszutauschen und auf dem Wissen früherer Generationen aufzubauen, hat es dem Homo sapiens ermöglicht, neue Ebenen der Komplexität zu schaffen und zur mächtigsten und einflussreichsten Spezies der Erde zu werden.

View attachment 8014

View attachment 8015

View attachment 8016

View attachment 8017

View attachment 8018

DER GENETISCHE CODE

Ein lebender Organismus ist das am genauesten geordnete Ding im bekannten Universum. Der Aufbau und die Erhaltung eines lebenden Körpers erfordern Führung und Kontrolle. Der gesamte Vorgang wird von sich selbst replizierenden Nukleinsäuremolekülen (DNA und ihren Vorfahren) gesteuert, die zu Beginn des Lebens vorhanden waren.

Bis zur Entdeckung der genauen Form der DNA im Jahr 1953 war es ein Rätsel, wie Lebensformen genetische Informationen an die nächste Generation weitergaben. Einmal enthüllt, deutete die doppelsträngige Struktur der DNA darauf hin, wie Informationen vererbt wurden, wenn sich eine Zelle in zwei teilte. In den nächsten Jahren bestätigten Experimente nicht nur, dass die DNA Erbeinheiten (genannt Gene) trug, sondern auch, dass sie ihren Einfluss auf erstaunlich komplexe Weise ausübte.

View attachment 7821INFORMATIONSTRÄGER DNA
ist ein riesiges langkettiges Molekül – genau wie Protein, Zellulose und viele andere biologische Moleküle. Doch während Cellulose eine monotone Faser aus identischen Untereinheiten ist, gibt es bei DNA – und Protein – unterschiedliche Arten. Verschiedene Untereinheiten folgen in einer informationstragenden Reihenfolge – so wie Buchstaben ein Wort bilden. DNA gehört zu einer Klasse langkettiger Informationsträger, die Nukleinsäuren genannt werden. Der Zucker und andere Bestandteile seiner Struktur gehörten zu den Urbestandteilen des Lebens. Die ersten Nukleinsäuren, möglicherweise ein Typ namens RNA, waren wahrscheinlich in der Lage, ihre eigenen Replikationsreaktionen anzukurbeln. Ihre Ketten könnten als Vorlagen für den Aufbau neuer paralleler Ketten gedient haben. Das Kopieren von einer Vorlage wird heute auch von der DNA in lebenden Organismen genutzt, allerdings geschieht dies nur, wenn sich die beiden Ketten der Doppelhelix in Vorbereitung auf die Zellteilung trennen. Ansonsten wird eine Kette wie die Seiten einer Leiter an einer anderen befestigt. Durch das Kopieren entstehen zwei Doppelhelices mit jeweils identischer Information, die für eine neue Tochterzelle bestimmt sind. Auf diese Weise werden genetische Informationen kopiert und vererbt.

VERWENDUNG DER INFORMATIONEN
Die DNA kann alleine keine Aufgaben erfüllen. Es weist andere Moleküle – die Proteine – an, die Aufgabe zu übernehmen, einen lebenden Organismus zu erhalten und zu entwickeln. Ein einzelnes DNA-Molekül trägt Hunderte von Abschnitten – Gene –, von denen jeder Anweisungen zur Herstellung eines bestimmten Proteins enthält. In einer lebenden Zelle werden Abschnitte der DNA ständig ab- und aufgewickelt – da Gene für die Proteinherstellung freigelegt werden.

▼ Es waren einfachere Zeiten... Heutzutage benötigt die DNA Protein zur Replikation und RNA zur Herstellung von Protein, damit alle anderen Funktionen erfüllt werden können. Am Ursprung des Lebens gab es keine solche Komplexität. Die frühesten replizierenden Moleküle, möglicherweise RNA, hatten die Fähigkeit, sowohl Daten zu übertragen als auch sich ohne Hilfe zu vermehren.

> DNA ist wie ein Computerprogramm, aber viel, viel mehr FORTSCHRITTLICHER ALS ALLE SOFTWARE, DIE JEMALS ERSTELLT WURDE.
>
> Bill Gates, Technologiepionier und Philanthrop, 1955–

▶ Lesen des Codes Im Zellkern einer lebenden Zelle wird die Doppelhelix der DNA entpackt, sodass Gene zur Herstellung von RNA und dann von Proteinen verwendet werden können. Hier wird ein RNA-Strang durch Zusammenpassen von Basen (chemischen Komponenten) aufgebaut und die Sequenz kopiert. Dieser RNA-Strang wird dann ein spezifisches Protein herstellen, das für die Lebensform nützlich ist. Die Sequenz der RNA-Basen ist der Code für eine spezifische Sequenz chemischer Komponenten, die genau das richtige Protein ergibt.

View attachment 7822

View attachment 7823

View attachment 7824

Die DNA gehört zu den längsten MOLEKÜLE – KETTEN IM MENSCHEN SIND BIS ZU 8,4 CM (3,3 ZOLL) LANG UND ENTHALTEN 249 MILLIONEN BASENPAARE

View attachment 7825

◀ Entdeckung der DNA Im Jahr 1953 gelang Wissenschaftlern an der Universität Cambridge ein Durchbruch. Der amerikanische Biologe James Watson (ganz links) und der britische Biologe Francis Crick kamen zu dem Schluss, dass DNA (Desoxyribonukleinsäure) eine regelmäßige Doppelhelixform und Eigenschaften habe, die es ihr ermöglichen würden, genetische Informationen weiterzugeben.

View attachment 7826

LEBEN BEGINNT

Leben entstand aus unbelebter Materie durch Prozesse zunehmender Komplexität. Als sich selbst replizierende Moleküle mit Katalysatoren vermischten – Substanzen, die chemische Reaktionen antreiben – kam es zu einer Selbstorganisation in den ersten Zellen: Organismen mit vertrauten Eigenschaften des Lebens.

Alles Leben besteht aus Zellen, in deren Membran die Chemikalien des Lebens enthalten sind. Ein lebender Organismus ist ständig dynamisch und widersetzt sich dem Zusammenbruch in Unordnung und dem Tod. Wie ein solches System aus der unbelebten Erde entstand, ist ein Rätsel, aber Wissenschaftler wenden ihr Wissen über Biochemie und Bedingungen auf der frühen Erde an, um abzuleiten, was passiert sein könnte. Der Übergang erfordert eine besondere Umgebung, und die Bedingungen waren möglicherweise um 4 BYA genau richtig.

BEZAHLT, UM EINE KOSTENLOSE MAHLZEIT ZU ESSEN
Vulkanschlote in der Tiefsee waren reich an Chemikalien und warm, aber nicht so heiß, dass große Moleküle auseinanderbrechen könnten. Vor Milliarden von Jahren waren sie auch ein sicherer Zufluchtsort vor bombardierenden Asteroiden und heftigen Sonnenstrahlen. Heutige Entlüftungsöffnungen verkrusten mit Metallsulfiden, wenn das Wasser abkühlt. Diese Mineralien verstärken oder katalysieren Reaktionen – einige davon wandeln Kohlendioxid in Acetat um. Acetat spielt heute eine zentrale Rolle im Stoffwechsel allen Lebens. Darüber hinaus kann durch eine Art Acetatbildungsreaktion sogar Energie erzeugt werden. Diese Kombination aus Lebensmittelherstellung und Zahlung in Energie – alles gefangen in der katalytischen Verkrustung – hätte eine „Brüterei" für Leben sein können.

> “ Die heutige DNA, durchzogen ALLE ZELLEN DER ERDE SIND ... EINE ERWEITERUNG UND AUSARBEITUNG DES ERSTEN MOLEKÜLS.
>
> Lewis Thomas, Arzt, Schriftsteller und Pädagoge, 1913–1993

Den Schornsteinen
entkommen Die ersten „Protozellen" entstanden, als ölige Membranen Chemikalien einkapselten, die in den Schornsteinen erzeugt wurden. Meerwasser half den Protozellen, sich aus den Schornsteinen zu verteilen, und die darin enthaltenen katalytischen Mineralien trugen dazu bei, ihren ursprünglichen Stoffwechsel aufrechtzuerhalten. Die Vielseitigkeit des Elements Kohlenstoff – das das Gerüst von Acetat bildet – bedeutet, dass sich seine Atome zu einer Vielzahl von Molekülen zusammenfügen können. Einige der durch Mineralkatalyse erzeugten Moleküle könnten eigene katalytische Fähigkeiten entwickelt haben – und könnten sogar ihre eigene Anordnung antreiben. Es ist möglich, dass diese Moleküle mit RNA in Zusammenhang stehen – einem Material, das heute in allen Zellen vorkommt. RNA – oder ähnliche Moleküle – markierte auch die Entstehung biologischer Informationen. Solche Moleküle könnten steuern, wie Zellen die entstehenden

Lebensqualitäten aufrechterhalten.

View attachment 7827

▲ Heißer Lebensraum Wenn Wasser aus einem Tiefseeschlot austritt, bilden verkrustete Mineralien „Schornsteine", von denen einige mit dunklem Eisensulfid zu rauchen scheinen. Diese Lebensräume beherbergen heute bizarre Lebensformen – völlig abhängig von der chemischen Energie im Abwasser.

▶ Der Ursprung des Lebens Eine chemische Reaktion, die durch Mineralien in einem Tiefseeschornstein ausgelöst und in einer Membran enthalten war, könnte die Grundlage für das erste Leben gewesen sein – eine „Protozelle". Komplexere Protozellen begannen später damit, ihre eigenen Katalysatoren herzustellen, die ihre Reaktionen steuerten. Zunächst könnte es sich bei diesen Katalysatoren um RNA gehandelt haben. Doch schließlich entwickelten Protozellen Proteinkatalysatoren, sogenannte Enzyme. RNA (und schließlich DNA) übernahmen die Kontrolle über die gesamte Anordnung.

View attachment 7829

View attachment 7830

View attachment 7831

View attachment 7832

View attachment 7833

View attachment 7834

WIE DAS LEBEN ENTWICKELT

Schon zu Beginn des Lebens war der Evolutionsprozess im Gange. Das Leben veränderte sich, und die Wurzel jeder Neuheit waren Mutationen – Unvollkommenheiten im DNA-Kopierprozess. Die Fehler führten zu Abwechslung, und auf einem veränderlichen Planeten waren einige Variationen erfolgreich, während andere scheiterten.

Alle Organismen verändern sich im Laufe ihres Lebens. Aber ein größerer Wandel auf der Ebene der Bevölkerung vollzieht sich über Generationen hinweg. Wenn sich ein Organismus vermehrt, kopiert er seine gesamte DNA, die von weniger als einer Million bis zu vielen Milliarden digitaler „Informationsbits" reicht. Das Unternehmen stellt einen monumentalen Umsatz molekularer Daten dar. Selbst wenn natürliche Systemprüfungen vorhanden sind, kommt es zu Kopierfehlern, sogenannten Mutationen.

Mutation erzeugt den Rohstoff der Variation. Einige Mutationen haben kaum Auswirkungen, andere können die Entwicklung jedoch abbrechen, während einige wenige von Vorteil sind.

AUSWAHL DURCH DAS UMFELD
Während Mutationen zufällig erfolgen, ist die Evolution alles andere als zufällig. Die Mutationen unterliegen einem Selektionsprozess. Lebensformen mit Es werden vorteilhafte Mutationen ausgewählt – sie vermehren sich und geben ihre „guten Gene" zumindest an einige ihrer Nachkommen weiter. Diejenigen mit Mutationen, die ihr Überleben oder ihre Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen, werden zurückgehen und möglicherweise aussterben. Die sich verändernde Umwelt sowie der Lebensraum und die Überlebensstrategie einer Lebensform in ihr bestimmen, ob ihre Mutationen hilfreich oder schädlich sind. Tiefseefische haben große Augen und leuchtende Geräte, die es ihnen ermöglichen, im Dunkeln zu jagen, während Wüstenkakteen über Stacheln geschützte Wasservorräte haben. Kaktusstacheln und leuchtende Köder brauchen genetische Vielfalt, um zu erscheinen, aber es ist die Umgebung, die sie für die richtigen Orte auswählt. Der Zufall kann bei der Verbreitung von Mutationen eine Rolle spielen, insbesondere in kleinen Populationen, aber nur natürliche Selektion kann die Anpassung – die Anpassung eines Organismus an seine Umgebung – erklären.

> “ EVOLUTION HAT KEIN LANGFRISTIGES ZIEL. ES GIBT KEIN FERNZIELE, KEINE ENDGÜLTIGE PERFEKTION ZU DIENEN ALS AUSWAHLKRITERIUM.
>
> Richard Dawkins, Evolutionsbiologe, 1941–

View attachment 7835▶ Die Grenze erreicht Ein paar Mikroben, die heute als leuchtende Farben an den Rändern heißer Säurebecken auffallen, sind ein Beweis dafür, inwieweit genetische Variation und Anpassung es dem Leben ermöglichen, in Extremen zu leben.

NEUE ARTEN Obwohl einige Mutationen plötzliche, deutliche Neuheiten hervorbringen können, erfolgt der evolutionäre Wandel im Allgemeinen langsam und schrittweise. Die Selektion wirkt sich typischerweise auf eine Reihe von Genen aus, die zusammenarbeiten, um umfassende Merkmale wie Größe oder Form zu steuern. Die lebende Vielfalt ist jedoch nicht kontinuierlich – sie kommt in diskreten Einheiten vor, die als Arten bezeichnet werden. Neue Arten entstehen, wenn sich zwei Populationen nicht mehr kreuzen können. Sie können keine Gene austauschen und ihre Evolutionspfade driften auseinander. Diese Divergenz kann über ein entstehendes Hindernis hinweg auftreten – etwa einen Fluss oder eine Bergkette. Aber Mutationen selbst, beispielsweise solche, die ganze Chromosomen betreffen, insbesondere bei Pflanzen, können Kreuzungen verhindern und Populationen isolieren. Heutzutage leben Millionen von Arten, aber alle – darunter unzählige weitere, die in der Vergangenheit lebten – sind Produkte evolutionärer Veränderungen, die von der Umwelt geprägt sind.

View attachment 7836

View attachment 7837

View attachment 7838

Es treten Mikroben auf

Bakterien gibt es schon viel länger als alle anderen Organismen. Sie waren die ersten, die Photosynthese betrieben, die ersten, die Nahrung zu sich nahmen – und sind immer noch die einzigen Lebewesen, die in der Lage sind, ihre Nahrung auch ohne Licht herzustellen. Vor Milliarden von Jahren waren sie Pioniere sowohl der Ozeane als auch des Landes.

Bakterien sind die einfachsten Zellorganismen, aber auch die mit Abstand am häufigsten vorkommenden und am weitesten verbreiteten. Sie sind viel kleiner als die Zellen von Pflanzen und Tieren – die meisten sind etwa ein Zehntel so groß wie eine menschliche Hautzelle. Sie werden prokaryotisch genannt („pro" bedeutet „vor" und „karyon" bedeutet „Kern"), weil ihren Zellen der dichte Zellkern fehlt, der in komplexeren Zellen DNA enthält. Bakterien scheinen in ihrer Struktur einheitlich zu sein, doch das täuscht über die bemerkenswerte chemische Vielfalt hinweg. Im Jahr 1977 erkannten Biologen einige Arten von Prokaryoten als völlig neue Lebensform, sogenannte Archaeen. Diese Archaeen, die meist in lebensfeindlichen Umgebungen wie Salzseen oder heißen Säurebecken leben, verfügten über einzigartige, auf Äther basierende Membranen wie kein anderes Lebewesen. Einige führten bizarre chemische Prozesse durch und spuckten Methan aus.

▼ Bakterien im Inneren von Tieren Viele nahrungsfressende Bakterien leben im Darm von Tieren – wie zum Beispiel auf der Auskleidung des menschlichen Dickdarms. Die meisten pflegen eine kooperative Beziehung zu ihrem Wirt, indem sie Nährstoffe austauschen – beim Menschen sind sie für die Verdauung unerlässlich. Aber einige verursachen Krankheiten.

View attachment 7840

VERTEIDIGUNGSBANKEN

Die frühe bakterielle Evolution fand in einer Welt statt, in der es von anderen Mikroben wimmelte – und viele dieser frühen Lebensformen produzierten abstoßende Substanzen, sogenannte Antibiotika, während sie um Nahrung und Raum konkurrierten. Bakterien verfügen daher über mehrere Abwehrschichten. Außerhalb ihrer dünnen Zellmembran, die allen Lebewesen gemeinsam ist, haben sie eine robuste Zellwand, und die meisten Arten haben auch eine zweite Membran, die das Eindringen von Antibiotika verhindert – und das gilt auch heute noch für Bakterien, deren Wand zwischen Innen- und Außenmembran liegt am resistentesten gegen Antibiotika.

▼ Bazillus Die Formen von Bakterien variieren von kugelförmig bis spiralförmig, aber dieser stäbchenförmige Typ, der Bazillus genannt wird, ist sehr häufig. Es zeigt eine Reihe von Merkmalen, die in einigen modernen Bakterien vorhanden sind. Die meisten frühen Bakterien hatten weder die äußere Kapselschicht noch die haarartigen Pili.

View attachment 7841

CHEMISCHE VIELFALT

Die bakterielle Ernährung umfasst das gesamte Spektrum an Arten, die bei Pflanzen und Tieren vorkommen – und noch mehr. Viele haben die Fähigkeit der frühesten Vorfahren des Lebens, Nahrung herzustellen, beibehalten und Energie aus Mineralien gewonnen.

Einige dieser Bakterien drangen in Böden ein und wurden durch das Recycling von Elementen wie Stickstoff für anderes Leben von entscheidender Bedeutung. Andere – die Cyanobakterien – entwickelten die Photosynthese, stellten Nahrung aus Sonnenlicht her und waren die ersten Organismen, die Sauerstoff in die Atmosphäre einbrachten. Doch als sich die mikrobiellen Gemeinschaften immer komplexer entwickelten, wurden viele zu Nahrungsfressern und nahmen Nahrung aus ihrer Umgebung auf. Es waren Bakterien wie diese, die Milliarden von Jahren später in die toten und lebenden Körper von Pflanzen und Tieren eindrangen und zu Zersetzern oder krankheitsverursachenden Parasiten wurden.

View attachment 7842

View attachment 7843◀ Baum des Lebens Dieser Baum zeigt laut DNA-Analyse die verzweigten Beziehungen zwischen allen Lebensformen. Die Analyse legt nahe, dass alles heute lebende zelluläre Leben einen gemeinsamen Ursprung hat – es hat sich nur einmal entwickelt, von einem unbekannten Vorfahren namens „LUCA", und dass es drei Hauptzweige oder Domänen hat: Bakterien, Archaeen und Eukaryoten.

View attachment 7844

View attachment 7845

View attachment 7846

Das Leben entdeckt das Sonnenlicht

Leben braucht Energie, und die ersten Lebewesen bezogen sie aus Mineralien und stellten ihre Nahrung in der Dunkelheit der Tiefsee her. Diejenigen, die folgten, fanden Energie an anderen Orten – und als Vorfahren von Pflanzen und Tieren fingen sie Sonnenlicht in den Untiefen ein oder aßen Nahrung, die von anderen Zellen hergestellt wurde.

Jedes Lebewesen – von der Mikrobe bis zum höchsten Baum – verbraucht Energie, die kleine Moleküle in große verwandelt, lebensspendende Materie in Zellen pumpt und dem Zerfall widersteht. Die unmittelbare Energiequelle hierfür ist die Nahrung. Energiereiche Substanzen wie Zucker und Fette durchlaufen in den Zellen eine Art kontrollierte Verbrennung – auf die gleiche Weise, wie chemischer Kraftstoff verbrannt werden kann, um jede Maschine anzutreiben. Doch statt sich zu entzünden, nutzen Zellen molekulare Katalysatoren (Enzyme genannt), um auf sichere und beherrschbare Weise die Energie aus ihrem Nährstoff-Brennstoff zu gewinnen. Der Vorgang wird Atmung genannt.

View attachment 7847▶ Raubtiere im Miniaturformat Amöben erhalten Nahrung, indem sie kleinere Organismen wie Algen verschlingen und diese mithilfe von Verdauungsenzymen abbauen. Das bedeutet, dass Amöben in der Dunkelheit leben können, aber Beute brauchen, um am Leben zu bleiben.

> “ DURCH MISCHEN VON WASSER UND MINERALIEN VON UNTEN MIT SONNENLICHT UND KOHLENDIOXID VON OBEN, GRÜN PFLANZEN VERBINDEN DIE ERDE MIT DEM HIMMEL.
>
> Fritjof Capra, Physiker, 1939–

ESSEN MACHEN

Pflanzen sind nicht die einzigen Lebensmittelproduzenten. Die autarksten Organismen von allen können ohne Licht leben und nur mit mineralhaltigem Wasser überleben. Diese Lebensformen – allesamt Bakterien oder Archaeen – können aus chemischen Prozessen, an denen diese Mineralien beteiligt sind, Energie gewinnen und daraus ihre Nahrung herstellen. Organismen, die diese chemische Ernährung übernehmen, gehörten zu den ersten Lebensformen, die in den tiefen, mineralreichen Ozeanen gediehen. Einige sind heute die unsichtbaren Recycler der Natur, deren Fähigkeit, Mineralien zu verändern, dabei hilft, den Stickstoff in abgestorbenen Pflanzen und Tieren an andere Lebewesen zurückzugeben. Eine bedeutende Veränderung in den Fähigkeiten prähistorischer Mikroben kam es, als sie in sonnenbeschienene flache Gewässer eindrangen. Diese neuen Bakterien nutzten Sonnenlicht zur Herstellung von Nahrungsmitteln – im Rahmen der

Photosynthese. Sie konnten sich nur bei Tageslicht ernähren – aber die Belohnung dafür war bei weitem größer als die des Herstellens Nahrung in der Dunkelheit: Sonnenlicht enthält viel mehr Energie als Mineralien. Diese Mikroben gediehen daher gut, während sie sich in den Küstenmeeren sonnten. Sie organisierten und erfanden chemische Prozesse neu und wandelten energiespendende Reaktionen in neue um, die Sonnenstrahlung nutzten. Sie taten dies mit Pigmenten wie Chlorophyll, die die Lichtenergie absorbierten und einfingen. Die ersten Photosynthesegeräte wandelten Kohlendioxid in Zucker um, indem sie den Wasserstoff aus Schwefelwasserstoff hinzufügten. Wissenschaftler wissen dies aufgrund der gelben Schwefelablagerungen, die dieser Prozess im Gestein hinterlässt. Doch eine spätere Verfeinerung der Photosynthese verhalf den Lebensformen stattdessen dazu, Wasserstoff aus Wasser zu gewinnen. Die damals übrig gebliebene Substanz – Sauerstoff – füllte schließlich die Atmosphäre (siehe S. 116–17) und half später beim Verbrennen der Zellen ihre Nahrung in der Atmung effizienter. Diese Pioniere waren wahrscheinlich wie die heutigen Cyanobakterien. Sie wuchsen zu klebrigen Zellfilmen heran, die Sedimente einschlossen. Im Laufe der Jahrtausende bildeten diese Kolonien felsige Hügel, sogenannte Stromatolithen („Stroma", Bett; „Lithos", Fels). Stromatolithen leben immer noch in einigen warmen Küstenmeeren, wo die besonders salzigen Bedingungen die Weidetiere unterdrücken – aber sie sind im Fossilienbestand reichlich vorhanden.

View attachment 7848

▲ Energie aus Sonnenlicht Eine dünne Matte aus Cyanobakterien auf einem lebenden Stromatolithen nutzt grünes Chlorophyll, um Sonnenlicht einzufangen. Die Energie wird genutzt, um aus Kohlendioxid und Wasser Bio-Lebensmittel herzustellen, wobei als Nebenprodukt Sauerstoff austritt.

LEBENSMITTEL VERBRAUCH

Sobald einige Lebensformen begannen, Nahrung zu produzieren, bestand die Möglichkeit einer Abkürzung. Anstatt Produzenten zu sein, könnten Organismen eine neue Strategie entwickeln – sie könnten von anderen produzierte Lebensmittel essen. Diese Organismen gaben die Nahrungsmittelherstellung auf und wurden zu Konsumenten – sie sammelten ihre Nahrung in fertiger Form. Diejenigen, die auf diese Weise Bio-Lebensmittel konsumieren, sind Tiere, Pilze und eine ganze Reihe von Mikroben. Wahrscheinlich die ersten Essensfresser Es nimmt gelöste Nahrungsmittel – wie zum Beispiel Zucker – auf, indem es diese einfach aus der Umgebung aufnimmt. Zersetzer wie Pilze erhalten auf diese Weise immer noch Nahrung – sie produzieren Verdauungssäfte, um alle organischen Materialien in der Nähe abzubauen, damit sie leichter absorbiert werden können. Die aktive Jagd, bei der ein Organismus einen anderen frisst und verdaut, war ein offensichtlicher nächster Schritt, und komplexe Zellen wie Amöben entwickelten die Möglichkeit, kleinere Organismen zu verschlingen. Es war das Auftreten dieses räuberischen Verhaltens, das den Beginn mikroskopischer Nahrungsketten markierte. Heutzutage sind Erzeuger und Verbraucher durch die Energieübertragung entlang größerer Nahrungsketten miteinander verbunden. Das Leben im Meer und an Land beginnt mit den solarbetriebenen Algen und Pflanzen, die heute fast die gesamte Nahrung der Welt liefern. Pflanzenfresser und Raubtiere verbrauchen unersättlich, während all diese Lebewesen wiederum auf Pilze und Bakterien angewiesen sind, die auf unterschiedliche Weise tote Materie recyceln.

▼ Wo die Photosynthese stattfindet Die Photosynthese ist der wichtigste Prozess der Nahrungsherstellung im modernen Leben. Pflanzen und Algen sind die Produzenten von

Nahrungsketten, die den Tieren an Land und in den Ozeanen dienen.

View attachment 7851

View attachment 7850

SAUERSTOFF FÜLLT DIE LUFT

Vor fast zweieinhalb Milliarden Jahren erlebte die Luft der Erde eine dramatische Veränderung: Sie wurde mit Sauerstoff angereichert. Dieses bedeutsame Ereignis wurde durch neuartige Mikroben verursacht und war unglaublich wichtig für die Zukunft allen Lebens.

Diese Mikroben, die in den sonnenbeschienenen Untiefen des Ozeans brodelten, produzierten Sauerstoff und sorgten dafür, dass die nachfolgenden Organismen nie wieder die gleichen sein würden. Sauerstoff ist ein bemerkenswertes Element. Es verursacht Feuer, das organisches Material in Asche verwandelt – es ist aber auch Bestandteil komplexer Moleküle wie der DNA. Die meisten Lebewesen brauchen es, um zu atmen und am Leben zu bleiben. Heutzutage macht Sauerstoffgas etwa ein Fünftel der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre aus, doch in der ersten Hälfte der Erdgeschichte gab es praktisch überhaupt keinen gasförmigen Sauerstoff. Stattdessen lag der gesamte Sauerstoff chemisch gebunden im Wasser und im Gestein. Photosynthetisierende Mikroben waren die ersten Organismen, die bei der Nahrungsherstellung Sauerstoff freisetzten, indem sie ihn aus Wasser abspalteten (siehe S. 114–15).

Aus Gift wurde Gewinn

Das frühe Leben war an steigende Sauerstoffwerte so ungewohnt, dass die Reaktion katastrophale Folgen hatte. Derselbe Sauerstoff, der Metall zu Rost zersetzen kann, richtete verheerende Schäden an der empfindlichen Maschinerie der Zellen an, die schlecht davor geschützt waren. Ein Großteil des frühen Lebens, das sich in sauerstoffarmen Lebensräumen entwickelt hatte, starb durch den neuen giftigen Sauerstoffangriff. Einige Mikroben verfügten über die Mittel zum Überleben – sie verfügten über Enzyme, die den Sauerstoff in ihren Molekülen einschlossen, wo er keinen Schaden anrichten konnte. Aber eine Art von Lebensform ging noch einen Schritt weiter, indem sie die Tatsache ausnutzte, dass Oxidation sowohl produktiv als auch destruktiv sein kann. Die Heftigkeit, mit der Sauerstoff reagiert, führt dazu, dass bei der Oxidation Energie freigesetzt wird. Bei der Verbrennung wird so viel Energie freigesetzt, dass die Reaktion heiß wird. Seit Milliarden von Jahren arbeiten Zellen daran, Energie zu gewinnen, um Lebensprozesse voranzutreiben. Die Anwesenheit von Sauerstoff eröffnete einen neuen Weg des Stoffwechsels – die aerobe Atmung – durch die Reaktion von Sauerstoff mit organischen Molekülen (siehe S. 102–103) und die Nutzung der freigesetzten Energie. Es handelte sich um einen so effizienten Mechanismus zur Energieerzeugung, dass innerhalb einer weiteren Milliarde Jahre praktisch alles Leben auf der Erde Sauerstoff atmete.

View attachment 7852

◀ Beweisbänder Bei der Ausgrabung von Gesteinen aus der Zeit vor dem Großen Sauerstoffanreicherungsereignis wurden Bänder aus rotem Eisenerz entdeckt. Sie entstanden in den Meeren, in denen Sauerstoff freigesetzt wurde.

View attachment 7853

Das Leben entstand wahrscheinlich in der Tiefsee, außerhalb der Reichweite des Sonnenlichts. Als sich frühe Lebensformen in neue Lebensräume ausbreiteten, fanden die Menschen in den sonnenbeschienenen Untiefen eine neue Energiequelle für die Nahrungsherstellung: Lichtenergie der Sonne.

View attachment 7854

Hunderte Millionen Jahre lang wurde der durch Photosynthese erzeugte Sauerstoff vom Eisen des Ozeans aufgesogen und in rostigen Bändern abgelagert, die heute einen wichtigen Teil der weltweiten Eisenerzreserven ausmachen. Als das gelöste Eisen des Ozeans auf etwa 2,4 BYA zur Neige ging, sättigte Sauerstoff das Wasser und begann dann, die Atmosphäre zu füllen.

View attachment 7855

View attachment 7856

◀ Solarbetriebene Mikroben Die photosynthetisierenden Mikroben entwickelten grün gefärbte Pigmente, die die Energie der Sonne absorbierten. Sie nutzen diese Energie, um im Prozess der Photosynthese organische Lebensmittel wie Zucker herzustellen (siehe S. 114–15).

> “ES IST DIESER ZUSTAND, DER VORHANDEN IST Legen Sie die Bühne für die Umwelt UND ENDLICH DIE UHR FÜR DER VORSTAND DER... TIERE.
>
> Timothy Lyons, Biogeochemiker Prof, c.1960–

View attachment 7857

Nach 2,4 Bya war das Wasser des Ozeans voller Sauerstoff und die Atmosphäre war sauerstoffreich. Da sich Organismen in sauerstoffarmen Lebensräumen entwickelt hatten, vergifteten diese neuen Bedingungen die meisten von ihnen. Nur wenige verfügten über die Möglichkeit, den Sauerstoff zu entgiften, und konnten so überleben.

View attachment 7858

Neue Mikroben entwickelten sich und konnten nun Sauerstoff nutzen, um der Nahrung mehr Energie zu entziehen, und wurden zu den dominierenden Lebensformen im neuen sauerstoffreichen Lebensraum. Einige sauerstoffhassende Mikroben hielten sich dort auf, wo Sauerstoff sie nicht erreichen konnte – etwa in dickem Schlamm.

View attachment 7859

KOMPLEXE ZELLEN ENTWICKLUNG

In einer Welt vor 2,7 BYA, in der es von Mikroben wimmelt, hat das Leben einen Weg gefunden, voranzukommen. Einfache Bakterien schlossen sich mit größeren Zellen zusammen, um mikroskopisch kleine Kooperationen zu bilden, die sich zusammenschlossen und zusammenarbeiteten, um komplexe neue Zellen zu bilden. Solche Zellen würden zu lebenden Einheiten von Pflanzen und Tieren werden.

Die Fähigkeiten von Bakterien sind durch ihre einfache Struktur begrenzt. Obwohl sie chemische Tricks ausführen können, die in einem komplexeren Leben unmöglich wären, sind sie in ihrer Bewegung und Sozialisierung eingeschränkt. Größere Möglichkeiten eröffneten sich, als größere Mikroben kleinere verschluckten – und sie in ihrem Inneren am Leben hielten.

ZELLFÄCHER
Pflanzliche und tierische Zellen sind eukaryotisch („eu", wahr; „karyon", Kernel), was bedeutet, dass sie ein zentrales Kompartiment haben, das als Zellkern bezeichnet wird. Dies unterscheidet diese komplexen Zellen zusammen mit vielen anderen membrangebundenen Kammern von Bakterien. Die Kammern werden Organellen genannt, weil ihre Verwendung in einer Zelle mit den Funktionen von Organen in einer Zelle vergleichbar ist größerer Körper. Einige, insbesondere Chloroplasten und Mitochondrien, erinnern an einige frei lebende Bakterien. Es lässt darauf schließen, dass sie entstanden sind, als Mikroben in prähistorischen Gemeinschaften kleinere Zellen zur Nahrungssuche verschlungen, diese aber, anstatt sie zu fressen, gefangen hielten und so ihre Lebensprozesse aufrechterhielten. Auf diese Weise wurden einige photosynthetische Bakterien von gestern zu den Chloroplasten von heute. Und Mitochondrien, die mit Sauerstoff atmen, stammen von sauerstoffatmenden Bakterien. Sogar der Kern könnte auf diese Weise entstanden sein, obwohl kaum noch Hinweise auf seine wahrscheinlichen Archaeen-Vorfahren übrig sind. In jedem Fall wurden die Gefangenen „kultiviert" und weitergegeben, wann immer ihre Gastgeber sich fortpflanzten. Im Laufe der Millionen Jahre wurden Wirt und Organelle vollständig voneinander abhängig.

Eukaryoten expandierten stärker als Bakterien es jemals könnten. Einige nutzten ihre photosynthetisierenden Chloroplasten, um Algen und Pflanzen zu entwickeln. Die Nahrungsfresser wurden zu Amöben, Pilzen und Tieren. Einige, wie zum Beispiel Euglena, konnten sogar zwischen der Photosynthese bei Sonnenschein und der Nahrungsaufnahme bei Dunkelheit wechseln. Aber es war weiterhin die Interaktion von Zelle zu Zelle, die weiterhin die treibende Kraft für die zunehmende Komplexität war – so entwickelten sich Eukaryoten mit der Zeit zu den größten und komplexesten Organismen auf dem Planeten.

View attachment 7860

View attachment 7861

View attachment 7862

View attachment 7863

Ein größeres Gehirn wachsen lassen

▲ Fleischgetriebener Geist? Dieses paläolithische Höhlengemälde eines Bisons stammt aus Altamira in Spanien. Einige Theorien gehen davon aus, dass die Umstellung auf eine fleischhaltige Ernährung der Auslöser für das Wachstum der Gehirngröße bei Homininen war.

Biologen untersuchen seit über einem Jahrhundert Unterschiede in der Gehirngröße und Intelligenz im gesamten Tierreich. Der Trend zu einer erhöhten Enzephalisierung (Gehirnmasse im Verhältnis zur Körpergröße) bei Primaten, der am deutlichsten beim Homo sapiens zu beobachten ist, ist eindeutig ein adaptives Merkmal.

Um zu verstehen, warum und wie wir ein großes Gehirn entwickelt haben – ein Organ, dessen Wachstum und Erhaltung viel Energie erfordert –, müssen viele Aspekte unserer Entwicklung berücksichtigt werden. Die Größe des Gehirns im Verhältnis zur Körpergröße scheint wichtig zu sein: Im Vergleich zu Primaten und anderen Säugetieren sticht der Mensch hervor mit unseren kugelähnlichen, aufgeblasenen Schädeln, die riesige Gehirne für unsere Gesamtmasse umschließen.

Denkanstöße Eine Theorie zur Erhöhung des Gehirngrößenverhältnisses bei Homininen bezieht sich auf Ernährungsumstellungen. Während einige Primatenarten, darunter Schimpansen, Sie konsumieren regelmäßig Fleisch, meist in sehr geringen Mengen. Im Vergleich dazu zeigen die archäologischen Aufzeichnungen der Homininen, dass der Darm mit der Zeit schrumpfte, als der Fleischkonsum häufiger wurde, was darauf hindeutet, dass weniger schwer zu verarbeitende pflanzliche Lebensmittel konsumiert wurden. Haben zusätzliche Kalorien und Fette aus einer fleischreicheren Ernährung und schließlich gekochten Lebensmitteln unser energiehungriges Gehirn ernährt und sogar seine Entwicklung vorangetrieben? Obwohl es zweifellos einige Auswirkungen gab, passen die zeitlichen Abläufe nicht ganz zusammen. Die Steinwerkzeugtechnologie, die vor über 3 Millionen Jahren entstand, ermöglichte den Homininen einen besseren Zugang zu den energiereichen Nahrungsmitteln in Tierkadavern. Aber im Laufe der Millionen Jahre zwischen den ersten australopithecinen Werkzeugmachern und dem frühen Homo war die Zunahme der Gehirngröße recht gering, nur etwa 100 cm3 (6 cu in). Erst vor 500.000 Jahren verdoppelte sich die Gehirnkapazität des Homo heidelbergensis.

View attachment 8033

DAS SOZIALE GEHIRN

Neuere Theorien berücksichtigen nicht nur die Gesamtgröße des Gehirns, sondern auch, wie sich seine verschiedenen Teile im Laufe der Zeit verändert haben, darunter Bereiche, die für Kommunikation, visuelle Verarbeitung, Planung und fortgeschrittene Funktionen wie Problemlösung wichtig sind. Von besonderem Interesse ist der Zusammenhang zwischen der Größe des Neocortex (dem äußeren Teil des Gehirns) und der sozialen Intelligenz. Der Neocortex ist daran beteiligt viele

Gehirnfunktionen, von der motorischen Kontrolle bis hin zu Wahrnehmung, Bewusstsein und Sprache. Primaten mit einem proportional größeren Neocortex leben in größeren sozialen Gruppen, was darauf hindeutet, dass der Neocortex die zusätzliche „Verarbeitungsleistung" bereitstellt, die das Gehirn benötigt, um die Beziehungen zwischen vielen Individuen im Auge zu behalten. Aber es geht nicht nur um Zahlen: Im sozialen Leben von Primaten geht es darum, das Verhalten anderer vorherzusagen und sogar zu manipulieren. Als die sozialen Netzwerke bei Homininen größer wurden, erforderte dies noch größere Investitionen in das Gehirn. Diese Ideen hängen mit anderen Aspekten der Gehirngröße zusammen, die bei verschiedenen Arten festgestellt wurden. Tiere mit größeren Augen haben beispielsweise tendenziell ein größeres Gehirn, was bedeutet, dass eine höhere Sehschärfe mehr Rechenleistung erfordert. Bei Homininen mit immer komplexeren Sozialleben ermöglicht ein hochentwickelter visueller Sinn nicht nur die Nahrungssuche und das Aufspüren von Raubtieren, sondern auch die genaue Bestimmung der Blickrichtung eines anderen und die Beobachtung subtiler Gesten.

Arten mit größerem Gehirn, vom Säugetier bis zum Vogel, neigen auch dazu, ein höheres Maß an Selbstbeherrschung zu zeigen. Sie sind in der Lage, Impulsen zu widerstehen und die Befriedigung hinauszuzögern und stattdessen auf der Grundlage früherer Erfahrungen über andere Handlungsweisen nachzudenken. Während bei Primaten der Grad der Selbstkontrolle nicht zwangsläufig mit der Größe einer sozialen Gruppe zunimmt, könnte eine größere Selbstkontrolle den Homininen dabei geholfen haben, regelbasierte soziale Strategien zu befolgen, um ihren Status zu verwalten und in sozialen Gruppen „weiterzukommen".

KOMPLEXE ANTWORTEN

Letztendlich könnte die Entwicklung größerer Gehirne das Ergebnis vieler konkurrierender Belastungen für Homininen gewesen sein, die insgesamt ein höheres Maß an Rechenleistung erforderten. Fragen zur Ernährung sind wichtig, aber vielleicht ist die schrittweise Ausweitung der Hominin-Ernährung wichtiger als nur die Einführung von Fleisch. Neben pflanzlichen Nahrungsmitteln und Fleisch begann der frühe Homo vor fast zwei Millionen Jahren auch „spezialisierte" Nahrungsmittel wie Fisch zu nutzen, was durch den Verzehr von Welsen und Schildkröten in Koobi Fora, Kenia, belegt wird. Eine umfassendere Nahrungssuche und insbesondere der verstärkte Einsatz von Werkzeugen erforderten eine größere Basis an motorischen Fähigkeiten, Gedächtnis und insgesamt eine größere Flexibilität. In vielen Fällen waren dies der Fall wahrscheinlich kooperative Aktivitäten, die auf der Fähigkeit zu lernen, Selbstbeherrschung und intensivem sozialen Netzwerken beruhen. Obwohl es verschiedene Gründe für die Vergrößerung unseres Gehirns in den letzten 20.000 Jahren geben kann, ist das menschliche Gehirn tatsächlich wieder kleiner geworden. Möglicherweise wird ein besseres Verständnis der Gehirnfunktion des Homo sapiens zeigen, dass Intelligenz nicht nur von der Gehirngröße, sondern auch von einer intelligenteren Verkabelung abhängt.

PRIMATENGEHIRNE SIND FAST DOPPELT SO GROSS WIE DIE VON SÄUGETIERE ÄHNLICHER GRÖSSE

View attachment 8034

▲ Das soziale Gehirn Heute arbeiten die San-Ureinwohner der Kalahari in eng verbundenen sozialen Gruppen, so wie es auch andere Jäger und Sammler normalerweise tun. Diese Fähigkeit zur komplexen Interaktion wurde erst durch die Entwicklung eines größeren Gehirns ermöglicht.

> Das Gehirn ist ein monströses, wunderschönes Durcheinander. SEINE MILLIARDEN VON NERVENZELLEN... LIEGEN IN EINEM VERWIRRTEN NETZ, DAS ZEIGT Kognitive Fähigkeiten, die weit über die des Siliziums hinausgehen MASCHINEN, DIE WIR GEBAUT HABEN, UM ES NACHZUBILDEN.
>
> William F. Allman, Journalist, 1955 –

View attachment 8035

◀ Entwicklung des Hominin-Gehirns In den letzten 7 Millionen Jahren hat sich die Größe des Hominin-Gehirns verdreifacht, wobei der größte Teil dieses Wachstums in den letzten 2 Millionen Jahren stattfand. Messungen antiker Gehirne basieren auf der Größe von Schädelresten, von denen einige Abgüsse ihres Inneren enthalten.

View attachment 8036

Sex vermischt Gene

Durch Fehler beim Kopieren von genetischem Material, sogenannte Mutationen, entstehen neue Gene und Merkmale – aber es ist das Sexualverhalten des Lebens, das sie durcheinander bringt und so einzigartige Individuen hervorbringt. Sexualität ist eine grundlegende Eigenschaft allen bekannten Lebens und es ist wahrscheinlich, dass sie sehr früh in der Evolution entstanden ist.

Einige Organismen vermehren sich ohne Geschlechtsverkehr, sodass die Nachkommen exakte Kopien der Gene ihrer Eltern tragen. Sie können sich über Generationen nur dann verändern, wenn durch Mutation Vielfalt entsteht. Aber die meisten Organismen können aufgrund ihrer Sexualität noch viel vielfältiger sein. Sex vermischt die DNA und bereichert eine Bevölkerung mit neuen Kombinationen. Eine Pflanzenart kann genetisch bedingte weiße oder violette Blüten sowie einen hohen oder niedrigen Wuchs haben. Diese Varianten werden durch Mutationen erzeugt (siehe S. 108–109), aber das Geschlecht vermischt sie, sodass sowohl große als auch Zwergpflanzen Blüten beider Farben hervorbringen können. Die einfachste Art von Sex findet statt, wenn Bakterien DNA-Stücke austauschen. Bei der Trennung wird jeder Partner genetisch verändert, es entstehen jedoch keine neuen Zellen. Bakterien haben also Sex entwickelt, aber keine sexuelle Fortpflanzung.

WIE MAN EIN RIESIGES GENOM SMUFFELT

Komplexe oder eukaryotische Zellen (siehe S. 118–19), einschließlich aller Pflanzen, Pilze und Tiere, können ihre Gene nicht wie Bakterien austauschen: Ihre langen, unhandlichen DNA-Ketten verhindern dies. Stattdessen bauen sie zunächst spezielle Geschlechtszellen auf, die nur die Hälfte ihrer DNA enthalten, und verschmelzen oder befruchten sie dann mit der Hälfte der DNA eines anderen Individuums. Um die Halbierung und Befruchtung zu erreichen, benötigen sie zwei „Dosen" jeder Art von Gen. Der Halbierungsprozess, Meiose genannt, teilt die Dosen in Geschlechtszellen (normalerweise Spermien und Eizellen) auf und die Befruchtung stellt die doppelte Dosis wieder her. Dadurch wird sichergestellt, dass jedes Gen vererbt wird und keine Informationen verloren gehen.

ES GIBT 8 MILLIONEN GENETISCHE KOMBINATIONEN MÖGLICH im SPERMA ODER EIER HERGESTELLT VON JEDER MENSCH

▼ Laichen Die Produktion von Geschlechtszellen kann produktiv sein. Korallen geben gleichzeitig Millionen von Spermien und Eiern ab – was die Chance auf eine Befruchtung im offenen Meerwasser erhöht.

View attachment 7864

VIELFALT BEI SPERMA UND EIER

Bei der Befruchtung werden Gene verschiedener Individuen vermischt, aber die Meiose stellt sicher, dass auch alle Geschlechtszellen eines einzelnen Elternteils unterschiedlich sind. Als Vorstufe der Meiose wird die DNA in den Zellen der Geschlechtsorgane verschoben, sodass alle Spermien oder Eizellen eines Elternteils genetisch unterschiedlich sind. Pflanzen, Tiere und andere komplexe Organismen entwickelten sexuelle Lebenszyklen, die von ihren Fähigkeiten geprägt

waren. Pilze – die als mikroskopisch kleine Fäden wachsen – haben eine Methode übernommen, die an Bakterien erinnert: Ihre Fäden verschmelzen an bestimmten Stellen, ohne echte Spermien oder Eier zu produzieren. Pflanzen – im Boden verwurzelt – entwickelten Zyklen, die sich ausbreitende Sporen oder Pollen nutzten. Aber bei all diesen Organismen diente das Geschlecht dazu, das Rohmaterial für die natürliche Selektion – die Variation – zu vervielfachen.

View attachment 7866

▲ Bakterium Bakterien haben Sex, indem sie DNA auf ein anderes Individuum übertragen. Einige der Gene, die den Austausch steuern, befinden sich tatsächlich auf der DNA, die bewegt wird, sodass der DNA-Strang seinen eigenen Transfer kontrolliert, ein bisschen wie eine unabhängige Lebensform.

View attachment 7867

▲ Komplexe Mikrobe Chlamydomonas ist eine einzellige Mikrobe, aber als komplexe Zelle (Eukaryot) verfügt sie über eine doppelte DNA-Dosis, die in Paare äquivalenter Chromosomen unterteilt ist. Jedes Mitglied eines Chromosomenpaares verfügt über gleichwertige Gene wie sein Partner, diese Gene können sich jedoch aufgrund von Mutationen, die sich über Millionen von Jahren angesammelt haben, unterscheiden.

View attachment 7865

▲ Tier Tiere sind auch Eukaryoten. Sie führen die gleichen Halbierungs- und Befruchtungsprozesse wie alle Eukaryoten durch, aber ihre Geschlechtszellen sind kurzlebige Eier und Spermien, die durch den Halbierungsprozess (Meiose) in den Geschlechtszellen der Tiere – entweder Eierstöcken oder Hoden – entstehen.

View attachment 7868

View attachment 7869

Zellen beginnen, Körper aufzubauen

View attachment 7870

Der Schritt von mikroskopisch kleinen, einzelligen Mikroben zu Organismen wie Pflanzen und Tieren mit bis zu Billionen Zellen war ein weiterer Quantensprung in der Komplexität des Lebens. Um die Ordnung in einem vielzelligen Organismus aufrechtzuerhalten, müssen die Zellen nicht nur richtig zusammenhalten, sondern auch kommunizieren, damit sich der gesamte Körper richtig entwickeln kann.

Den Fähigkeiten einer einzelligen Mikrobe sind Grenzen gesetzt. Zellen können nicht über eine bestimmte Größe hinaus wachsen, ohne unkontrollierbar zu werden – durch Diffusion gelangen Lebensmaterialien nur über mikroskopische Entfernungen in ihren Körper hinein und aus ihm heraus, und die ölige Zellmembran bricht auf, wenn eine Zelle zu groß wird. Zellen teilen sich, wenn sie ein bestimmtes Stadium erreichen, sodass Mikroben mikroskopisch klein bleiben.

View attachment 7871

View attachment 7873▲ Temporäre Körperschleimpilze stehen an der Schwelle zur Mehrzelligkeit. Normalerweise handelt es sich um einzelne, amöbenartige Einzelzellen, aber in Zeiten von Stress schließen sie sich zusammen und bilden mehrzellige Fruchtkörper wie diese..

Größere Organismen mit kooperierenden Arbeitsteilen können neue Lebensweisen entwickeln, dafür müssen sie jedoch vielzellig werden. Einige Mikroben weigern sich, sich nach der Teilung zu trennen, sodass ihre Zellen in einer Kolonie verbunden bleiben. Die Einfachheit dieser Anordnung – Teilung ohne Segregation – legt nahe, dass Vielzelligkeit an sich keine so monumentale Errungenschaft ist – aber Körperteile (und damit Zellen) auf verschiedene Aufgaben zu konzentrieren, ist eine andere Sache.

AUFTEILUNG DER ZELLULÄREN ARBEIT

Echte Mehrzelligkeit entsteht, wenn die Zellen einer Kolonie zusammenarbeiten und sich spezialisieren, wobei sie sich dabei auf chemische Hinweise ihrer Nachbarn verlassen. Alle Zellen einer Kolonie tragen Kopien der DNA, die durch Replikation während jeder Zellteilung erstellt werden. Obwohl sie identische genetische Pläne beibehalten, schalten Zellen ausgewählte Gene aus, wenn sie bestimmte Gene aufgeben Funktionen konzentrieren sich auf bestimmte Aufgaben –

und verlassen sich zunehmend auf andere Zellen um sie herum, um ihre Defizite zu decken. In den präkambrischen Ozeanen gehörten filtrierende Schwämme zu den ersten vielzelligen Tieren, obwohl sie nur einen Schritt davon entfernt sind, eine lose Kolonie zu sein. Ein durch ein Sieb geleiteter Schwamm kann aus jeder getrennten Zelle neue Individuen sprießen lassen, und das Gleiche gilt für einige einfache Algen. Später, bei komplexeren Tieren und Pflanzen, waren die Zellen stärker auf ihre spezifischen Aufgaben konzentriert. Ihr Schicksal – Haut, Muskel oder anderes Gewebe zu werden – wird durch ihre Lage im frühen Embryo bestimmt. Kooperierende Gewebe werden dann zu Organen, etwa zu solarbetriebenen Blättern oder schlagenden Herzen, und ihre Zellen überleben nicht mehr alleine. Vielzelligkeit macht die Zellen möglicherweise für immer abhängig, bringt aber enorme Vorteile für den größeren Körper mit sich. Es ermöglichte dem Leben, funktionierende Teile wie stechende Tentakel und Geschlechtsorgane zu entwickeln. Die nun mögliche Vielfalt an Körpergrößen vervielfachte die Komplexität natürlicher Lebensgemeinschaften und führte zu ausgefeilten Nahrungsnetzen und Lebensräumen, die aus den Körpern größerer Organismen, von Korallen bis hin zu Bäumen, aufgebaut waren.

View attachment 7872

View attachment 7874

◀ Kreatur oder Kolonie? Der Unterschied zwischen Zellkolonien und echtem mehrzelligem Leben ist nicht immer klar. Einzellige Mikroben, sogenannte Choanoflagellaten, bilden gestielte Kolonien. Viele Zellen in einem Schwamm sehen in etwa gleich aus und verhalten sich auch ähnlich. Was das Tier zu mehr als einer Kolonie macht, sind seine unterschiedlichen, spezialisierten Zelltypen, die auf integrierte Weise zusammenarbeiten müssen, um zu überleben.

View attachment 7875

View attachment 7876

▲ Gestoppte Entwicklung Erstaunliche Fossilien aus der Doushantuo-Formation in China scheinen zeitlich eingefrorene Embryonen in ihren frühesten Stadien der Zellteilung zu zeigen, während sie sich von einer einzelnen Eizelle in zunächst zwei, dann vier, dann acht Zellen usw. verwandeln . Dieser Akt der Zellteilung ohne Trennung ist die Wurzel der Vielzelligkeit; Es könnte sein, dass es sich bei diesen Fossilien um sehr frühe vielzellige Tiere handelt, die etwa vor 635 MYA ihr Leben begannen.

> “ Die Vorfahren der höheren Tiere müssen Sei ... einzellige Wesen, ähnlich den Amöben WAS ... IN UNSEREN FLÜSSEN, POOLS UND SEEN VORkommt.
>
> Ernst Haeckel, Evolutionsbiologe, 1834–1919 Die Geschichte der Schöpfung

View attachment 7877

View attachment 7878

View attachment 7879

MÄNNER UND WEIBLICHE UNTERSCHIEDLICH

Neben der Entwicklung komplexer, mehrzelliger Körper entwickelten sich Pflanzen und Tiere auch in zwei Geschlechter. Von jeder Tierart wurde die Hälfte zu Weibchen und konzentrierte sich – durch Eigelb oder Schwangerschaft – auf die Ernährung ihrer Nachkommen. Die andere Hälfte – die Männchen – wurden zu Kämpfern und Angebern.

Der Kontrast zwischen den Geschlechtern kann tatsächlich sehr ausgeprägt sein. Ein weiblicher See-Elefant kann fünfmal kleiner sein als sein Partner – und ein Seeteufelweibchen 40-mal größer. Alle Sexualorganismen haben eine gemeinsame genetische Investition in die Erzeugung von Nachkommen, aber Männer und Frauen haben unterschiedliche – wenn auch komplementäre – Interessen an der Art und Weise, wie sie zur Bildung der nächsten Generation beitragen.

> “ Wir können kaum glauben, dass... die Frau... es nicht ist BEEINFLUSST DURCH DIE WUNDERSCHÖNEN FARBEN ODER ANDERES VERZIERUNGEN, MIT DENEN DER MÄNNLICHE... VERZIERT IST
>
> Charles Darwin, biologist, 1809–82, Die Abstammung des Menschen und die Selektion in Bezug auf das Geschlecht

View attachment 7881Paarungstypen und Geschlechter

Dem niedrigsten Lebewesen gelingt es, sexuell zu sein, ohne überhaupt Männchen und Weibchen zu haben. Viele Mikroben und Pilze haben mehrere, aber identisch aussehende „Paarungstypen". Subtile chemische Unterschiede bestimmen, ob sie fusionieren können, um ihre Gene zu vermischen. Paarungstypen haben die gleiche Verantwortung für die Fortpflanzung. Aber die Entwicklung der verschiedenen Geschlechter ändert dies. Obwohl jedes Geschlecht die gleiche Menge an genetischer Information beisteuert, liefert das weibliche Geschlecht seine eigene in Form einer Eizelle, die mit nährendem Eigelb versehen ist, während die Männchen leichte Spermien produzieren, die sich darauf konzentrieren, mit dieser Eizelle zu verschmelzen. Der Kampf der Geschlechter begann, als Spermien begannen, in Richtung der mit Nahrung gefüllten Eier zu schwimmen.

wählerische Weibchen, auffällige Männchen

Einige Weibchen – wie viele Insekten und Fische – legen winzige Mengen Eigelb in jedes Ei und können es sich dennoch leisten, Hunderte davon zu produzieren. Andere produzieren weniger Eier mit mehr Eigelb oder bringen nach einer kostspieligen Schwangerschaft Junge zur Welt. So oder so, körperlich hochwertig Investitionen in die nächste Generation machen eine Frau wählerisch, wenn es um die Auswahl ihrer Partner und die Weitergabe ihrer Gene geht. Die Kosten für die

Spermienproduktion sind weitaus geringer. In dem Bestreben, ihre Gene weiterzugeben, investieren Männchen mehr darin, andere Männchen zu schlagen, um Eier zu befruchten, sei es im Wettbewerb, etwa einem Rennen oder Kampf, oder indem sie Weibchen mit Werbeanzeigen begeistern. Dies hat sich ergeben in extravaganten männlichen Zügen, vom riesigen Kiefer eines Hirschkäfers bis zum Federbusch eines Paradiesvogels. Fossile Beweise – wie die Wappen männlicher Flugsaurier – legen nahe, dass dies nichts Neues ist. Aber männliche Darstellungen, die auf Farbe, Stimme oder Verhalten beruhen, hinterlassen keine Spuren; Heutzutage sorgen diese Eigenschaften für einige der schillerndsten Naturschauspiele – wenn Männchen kämpfen, tanzen oder singen, um zum Paarungserfolg zu gelangen.

View attachment 7880

◀ Größenkontrast Die Packung eines Eies aus Zytoplasma und Eigelb macht es zu einer der größten Zellarten. Ein Spermium – eines der kleinsten – hat eine peitschenartige Geißel, die ihm beim Schwimmen hilft und von einem einzigen Mitochondrium angetrieben wird.

View attachment 7882

TIERE BEKOMMEN EIN GEHIRN

Alle Tiere verfügen über ein Nervensystem, das Veränderungen erkennt und darauf reagiert. Aber nur einige entwickelten komplexeres Verhalten. Die Tiere, die das taten, begannen zu schwimmen oder vorwärts zu kriechen. Sie entwickelten eine Batterie von Sinnesorganen und ein Entscheidungsgehirn, um den Weg zu weisen.

View attachment 7883

Einige der ersten Tiere, wie zum Beispiel Quallen, bewegten sich mit Tentakeln, die vom Körper in alle Richtungen strahlten. Ihr Körper hatte eine Ober- und Unterseite, aber weder Vorder- noch Rückseite – also keinen Kopf und Schwanz. Es reichte aus, um auf Nahrung und Gefahr zu reagieren, und dafür verfügten sie über ein Nervensystem, das aus langen, miteinander verbundenen Nervenzellen bestand. Ein Reiz, der ein beliebiger Impuls aus der Umgebung sein kann, löste in ihrem System elektrische Impulse entlang der Fasern der Nervenzellen aus – und als das Signal einen Muskel erreichte, zog sich dieser zusammen, um an einem Körperteil zu ziehen. Komplexes Verhalten war jedoch unmöglich: Sie hatten kein Gehirn, um sensorische Eingaben zu analysieren und Entscheidungen zu treffen.

▲ Nervennetz Eine Anemone hat keine im Gehirn konzentrierten Nervenzellen. Stattdessen sind sie in einem Netz angeordnet, wobei die sensorischen Zellen Informationen sammeln und die tiefer liegenden Zellen mit den Muskeln kommunizieren. Verhalten liegt in seiner einfachsten Reiz-Reaktions-Form vor.

EIN KOPF ZUM DENKEN

Vor mehr als 600 MYA führten zukunftsweisende Tiere eine Schlüsselinnovation ein. Wenn sie sich konsequent in eine Richtung bewegten, betrat ein Körperteil – das vordere Ende – immer zuerst Neuland. Tiere konzentrierten an diesem Ende ihre Sinnesorgane und entwickelten eine entsprechende Nervenmasse Zellen, die alle eingehenden Daten verarbeiteten: Sie entwickelten die ersten Köpfe mit den ersten Gehirnen. Eine zentrale Leitung – ein Nervenstrang – leitete Impulse durch den Körper und ermöglichte die Kommunikation zwischen Gehirn, Muskeln und Sinnesorganen. Es bedeutete eine grundlegende Neuordnung. Zwei Seiten des neu verlängerten Körpers entwickelten sich als Spiegelbilder voneinander und gaben der neuen Tierart eine einzige Symmetrielinie entlang der Mittellinie ihres Körpers. Dieser Körperbau dominierte die Tiere, von den einfachsten Plattwürmern bis hin zu den komplexesten Wirbeltieren. Die Gehirnleistung ermöglicht komplexes Verhalten, so können Spinnen beispielsweise Netze spinnen, um Beute zu fangen. Doch solange Verhalten einem festen Muster folgt, kann es immer noch „fest verdrahtet" und durch Gene bestimmt sein. Echte Vielseitigkeit würde entstehen, wenn Spuren der elektrischen

Aktivität des Gehirns Erinnerungen hinterlassen, die das Verhalten beeinflussen. Großhirnige Tiere wie Säugetiere und Vögel können aus Erfahrung lernen. Und einige von ihnen erlangten Weitsicht – den ultimativen Ausdruck der Gehirnleistung, der die menschliche Kreativität vorwegnahm.

▼ Fossiles Gehirn Weichteile wie das Gehirn versteinern selten, aber der fossile Kopf eines kambrischen garnelenähnlichen Tieres namens Fuxianhuia zeigt einen detaillierten Abdruck des Gehirns. Die großen Sehlappen lassen darauf schließen, dass das Tier auf das Sehen angewiesen war.

View attachment 7884

View attachment 7885

View attachment 7886

> “ Teile des Gehirns verschiedener Tiere haben sich erweitert UND GEHÖHTE AN BEDEUTUNG… ALLES IN ÜBEREINSTIMMUNG MIT DEN ANFORDERUNGEN DES LEBENSSTILS DER ART.
>
> Susan Greenfield, Neurowissenschaftler, 1950–

View attachment 7887

View attachment 7888

Das Leben der Tiere explodiert

Die erste große Explosion des Tierlebens ereignete sich vor etwas mehr als 600 MYA – in Ozeanen, die bereits von Algen und Mikroben bevölkert waren. Aus bescheidenen Anfängen als Schlingpflanzen und Weidetiere auf dem Meeresboden entwickelten sich die Tiere schnell zu allen heute lebenden Hauptgruppen.

Die ältesten Ganzkörperfossilien scheinen so plötzlich in den geologischen Aufzeichnungen aufzutauchen, dass das erste Kapitel in der Evolution der Tiere als „Explosion" bezeichnet wurde. Ein umfassenderes Bild zeigt tatsächlich, dass es sich möglicherweise um eine Reihe von Explosionen handelt. Eine frühe Evolutionswelle hinterließ weltweit Fossilien, vor allem aber in Neufundland (Kanada) und in den Ediacara-Hügeln Australiens, die dieser Periode ihren Namen gaben, den Ediacara (635–541 MYA). Die erhaltenen Tiere sind nicht wiederzuerkennen – einige sind scheibenförmig, andere wedelförmig – und Wissenschaftler können sie keiner modernen Gruppe zuordnen. Dies waren nicht die ersten Tiere. DNA-Beweise deuten auf einen noch früheren präkambrischen Ursprung, aber auf die frühesten Formen hin hinterließ kaum mehr als Spuren und Spuren. Diese Fossilienspuren können jedoch selbst eine reichhaltige Datenquelle sein, die uns Aufschluss über die Lebensweise und Gemeinschaften der Tiere gibt.

FRÜHE RECYCLER

Tiere haben sich aus einzelligen Organismen entwickelt. Die präkambrischen Spuren zeigen, dass das Leben dieser ersten Tiere an Sedimente auf dem Meeresboden gebunden war. Einige krochen über die Oberfläche oder wuchsen zu schwammartigen Matten heran. Tiere hatten Muskelsysteme entwickelt, die sie von anderen vielzelligen Lebewesen unterscheiden. Ihre Muskeln halfen ihnen, ihre Umwelt aktiv mitzugestalten. Auf der Suche nach gelöster Nahrung entwickelten sich einige dieser Sedimentpioniere zu Gräbern und begannen, das Sediment auf eine noch nie dagewesene Weise aufzuwühlen. Dadurch wurden Materialien zwischen dem Meerwasser und dem Bodenschlamm verwirbelt, was dem Sediment Sauerstoff hinzufügte und organische Stoffe und Mineralien zwischen den beiden Lebensräumen austauschte.

View attachment 7889

View attachment 7890

Meeresbodengemeinschaften

Im frühen Kambrium blühten Tiergemeinschaften auf und um den Meeresboden. Der Fossilienbestand aus dieser Zeit ist weniger unvollständig, da viele Tiere kalkhaltige Außenskelette hatten – als Schutz vor anderen, aber auch in der Lage, größere Körper und Kolonien zu ernähren. Je reicher das Plankton mit größeren Organismen wurde, desto wahrscheinlicher sanken ihre Leichen und Abfälle. Zum ersten Mal waren die Lebensformen in der Wassersäule durch eine primitive Nahrungskette eng mit denen auf dem Meeresboden verbunden. Die Lagerstättenfresser waren auf diesen Nahrungsregen angewiesen. Jetzt war die Zeit der vollständigen kambrischen Explosion, die am bekanntesten durch die Fossiliensammlung des kanadischen Burgess-Schiefers (505 MYA) dokumentiert wurde. Alle wichtigen Arten lebender Tiere – Plattwürmer, Weichtiere und

Arthropoden eingeschlossen – hatten sich entwickelt. Aber neben ihnen entwickelten sich auch andere, weniger bekannte Typen. Einige Fossilien deuten auf die Existenz von Tieren hin, die sich von allen heute lebenden Tieren unterscheiden, und viele Wissenschaftler haben diese Zeit als eine Zeit des Experimentierens mit der Körperformung beschrieben. Viele dieser alten Arten verschwanden, ohne bleibende Nachkommen zu hinterlassen, aber andere füllten den Planeten mit Tierleben.

View attachment 7891

◀ Experimenteller Körper Opabinia ist ein Beispiel für einen experimentellen Körperplan aus dem Burgess-Schiefer. Dieses Lebewesen ist mit keinem heute lebenden Tier verwandt und einige Experten halten es für ein gescheitertes Körperbauexperiment, das bald ausstarb.

> “ EINIGE 15–20 BURGESS-ARTEN KÖNNEN NICHT SEIN MIT JEDER BEKANNTEN GRUPPE VERBUNDEN. VERGRÖSSERN EINIGE DAVON... UND SIE SIND AM SET EINES Science-Fiction-Films.
>
> Stephen Jay Gould, Paläontologe und Evolutionsbiologe, 1941–2002
> Wunderbares Leben: Der Burgess-Schiefer und die Natur der Geschichte

View attachment 7892

TIERE GEWINNEN EIN RÜCKGRAT

View attachment 7893

Tiere mit Rückgrat – von Fischen bis hin zu Säugetieren – haben eine Geschichte, die bis zu kleinen larvenähnlichen Filtrierern zurückreicht, die in der evolutionären Explosion des Kambriums auftauchten. Das von ihnen entwickelte innere Skelett stützte Tierkörper, die weitaus größer waren, als dies zuvor möglich war.

Wirbeltiere (Tiere mit einer Wirbelsäule oder Wirbelsäule) entstanden vor 500 MYA aus kleinen muskulösen Schwimmern in den Meeren des Kambriums. Sie hatten einen gummiartigen Stab – eine Notochord –, der durch den Rücken eines sich verjüngenden Körpers verlief, und bewegliche Muskelblöcke, die den Stab von einer Seite zur anderen bogen. Heutzutage verwenden Fische die gleiche Technik zum Schwimmen – aber bei den meisten Fischen wächst die Rute erst im Embryo und wird im Erwachsenenalter durch ein härteres Rückgrat ersetzt. Die kambrischen Rodbacks waren bescheidene Filterfresser, aber ein Rückgrat gab ihren Nachkommen völlig neue Möglichkeiten, ihr Leben zu leben.

View attachment 7894Knorpelige Anfänge

Die frühesten Elemente eines Skeletts bestanden aus Knorpel: zähem, aber flexiblem, mit Kollagen gefülltem Gewebe. Knorpel wuchs im Kopf der ersten Fische, wie z. B. Haikouichthys, und schützte das Gehirn und stützte die Bögen zwischen ihren Kiemenschlitzen. Bei späteren Tieren wuchs Knorpel über die Chorda dorsalis und schützte auch das Rückenmark und wurde so zur ersten echten Wirbelsäule. Die Säule ermöglichte ein stärkeres Schwimmen, während Flossen – mit eigenen Knorpelstützen – die Kontrolle und Stabilität verbesserten. Körper mit Stützknorpel könnten größer und beweglicher werden – benötigten aber auch mehr Nahrung und Sauerstoff. Die ersten Fische erhielten beides, indem sie Wasser durch ihre Kiemen pressten – die Nahrungsfunktion wurde jedoch später übernommen über Mund und Rachen, so dass die Kiemen frei bleiben, damit sie besser Sauerstoff aufnehmen können. Dies geschah bei am Boden lebenden, gepanzerten, kieferlosen Fischen, sogenannten Ostrakodermen, die ihre Kehlmuskeln nutzten, um Nahrung aus dem Schlamm einzusaugen. Aber Ostrakodermen waren auch aus einem anderen Grund Pioniere: Sie hatten den ersten Knochen.

KNOCHENKÖRPER

Das Kollagen des Knochens ist mit mindestens 70 Prozent Mineralien gehärtet. Möglicherweise hat es sich als Reservoir für das zusätzliche Kalzium und Phosphat entwickelt, das zur Aktivierung schnell wirkender Muskeln und Nerven benötigt wird. Aber es hatte auch offensichtliche mechanische Vorteile. Ostrakoderme („Ostrakon", Schale; „Derma", Haut) verwendeten Knochen als äußere Panzerung, die mit so viel Mineralien gefüllt waren, dass lebende Zellen ausgeschlossen waren. Später durchdrangen Fische ihre Knochen mit lebenserhaltenden mikroskopischen Kanälen, was bedeutete, dass sie von innen heraus wachsen und ein inneres Skelett bilden konnten. Die meisten heute lebenden Wirbeltiere haben ein knöchernes Skelett mit Knorpel, der größtenteils die

Gelenke umgibt. Einige wenige – etwa Haie und Rochen – kehrten zu einem leichteren Knorpelskelett zurück, aber Knochenfische diversifizierten sich stärker und wirkten ihren schwereren Knochen mit einer schwimmfähigen, gasgefüllten Schwimmblase entgegen. Und ein Knochenskelett war entscheidend für die Entwicklung der folgenden Landwirbeltiere. Nur riesige Knochen konnten das Gewicht der größten Dinosaurier tragen.

View attachment 7895

View attachment 7896

View attachment 7897

View attachment 7898

View attachment 7899

View attachment 7900

View attachment 7901

View attachment 7902

Kiefer schaffen erstklassige Raubtiere

Raubtiere sind ein Teil der natürlichen Welt, seit Organismen die Fähigkeit entwickelt haben, sich gegenseitig zu fressen. Allerdings waren Tiere mit Rückgrat ursprünglich Filtrierer, die Schlamm vom Meeresboden saugten. Erst als sie Kiefer entwickelten, konnten sie an der Spitze langer Nahrungsketten stehen.

Viele Wirbellose – wie Raubwürmer, Seeskorpione und Tausendfüßler – haben scharfkantige Kiefer entwickelt, mit denen sie Beute greifen können. Aber Wirbeltiere machten ihre Kiefer durch die Verwendung von Knorpel und Knochen größer und muskulöser. Die ersten Kieferwirbeltiere erreichten dies durch eine evolutionäre Neuanordnung der Bögen, die die Kiemen stützen. Im Laufe der Generationen wurden die Vorderbögen nach vorne in das Dach und den Boden des Mundes verlagert und trafen zur Rückseite des Schädels hin zusammen und bildeten ein Scharniergelenk.

SUPER-RABTIER

Die Umformung der Kiemenbögen zu beweglichen Kiefern hat möglicherweise dazu beigetragen, die Kiemen mit mehr Sauerstoff zu füllen, aber die Entwicklung stärkerer Muskeln ermöglichte es den Kiefern auch, zu beißen. Dies half den Fischen, ihre Beute sowohl zu fangen als auch zu töten und zu zerstückeln. Natürliche Selektion hätte die Entwicklung größerer Fische mit kräftigeren Kiefern begünstigt und ehrgeizigere Möglichkeiten der Raubtierjagd eröffnet. Die frühesten bekannten Kieferwirbeltiere waren Placodermen: meist gepanzerte Fische, die während der Devon-Zeit (419–359 MYA) blühten. Einer der größten bekannten Exemplare war Dunkleosteus, dessen fossile Überreste gefunden wurden auf der ganzen Welt – ein Beweis für seinen Erfolg. Dunkleosteus wuchs doppelt so lang wie ein Auto und war das größte Raubtier seiner Zeit – und seine Kiefer konnten leicht die Panzerung seiner Zeitgenossen durchbohren. Seine Größe und Kraft bedeutete, dass es größere Tiere, darunter auch andere Raubtiere, erbeuten konnte. Die Ozeane des Devon hatten ein zusätzliches Glied in ihren Nahrungsketten: ein Top-Raubtier.

VIELFALT DER ERNÄHRUNG

Trotz ihrer scheinbaren Vormachtstellung überlebten die Placoderms nicht. Sie verschwanden beim Massenaussterben im späten Devon – ein Ereignis, das wahrscheinlich durch einen Abfall des Sauerstoffgehalts ausgelöst wurde. Aber andere Kiefer Wirbeltiere – insbesondere die Haie – hatten sich inzwischen weiterentwickelt und überlebten. Obwohl ihre Kiefer aus flexiblem Knorpel bestanden, hatten sie messerscharfe Zähne, die nacheinander ausgetauscht werden konnten – etwas Das könnten Placoderms wahrscheinlich nie tun. Aber es waren knöcherne Wirbeltiere, die ihre Kiefer und ihre besonders harten, mit Zahnschmelz überzogenen Zähne auf ein neues Niveau brachten. Krokodile, Dinosaurier und Säugetiere entwickelten tief verwurzelte Zähne, die der kämpfenden Beute besser widerstehen konnten. Das Gebiss wurde auch bei Tieren weiter unten in der Nahrungskette verändert. Weidende Säugetiere entwickelten knirschende Zähne und ihre Beißkiefer wurden zu Kaukiefern – was das ökologische Spektrum der Wirbeltiere mehr denn je erweiterte.

> “ DIE WIRBELTIERE, DIE STURMLICH DURCHKOMMEN... Währenddessen die meisten [kieferlosen Fische] beiseite fegen Die Devonier waren diejenigen mit Kiefern.
>
> Colin Tudge, Biologe und Schriftsteller, 1943–

▼ Spitze der Nahrungskette Die Entwicklung größerer Kieferwirbeltiere erweiterte den Größenbereich ihrer potenziellen Beute – und umfasste auch andere kleinere Raubtiere. Dadurch verlängerten sich die Nahrungsketten. In dieser Nahrungskette zeigen Pfeile den Energiefluss von der Beute zum Raubtier.

View attachment 7903

View attachment 7904

View attachment 7905

View attachment 7907

PFLANZEN BEWEGEN SICH AN LAND

View attachment 7908Das erste Anzeichen dafür, dass das Land grün wurde, kam wahrscheinlich, als Algen über der Gezeitenzone entlang der Meeresküsten krochen. Der Umzug in dauerhaft trockenere Umgebungen weiter im Landesinneren erforderte jedoch Pflanzen mit im Boden verankerten Wurzeln und Trieben, die in trockener Luft aufrecht wachsen konnten.

Die Vegetation wuchs im Wasser, lange bevor sie ins Land eindrang. Algen hatten breite Wedel entwickelt, die die Lichtenergie der Sonne abfingen, und einen „Halter", der den Körper am Fels festhielt. Diese Algen leben noch heute im Meer. Viele überstehen periodische Belastungen bei Ebbe, sind aber zu dünn, um an Land lange zu überleben.

WASSERFESTIGKEIT DER BLÄTTER

Wasser filtert einen Teil der Sonnenenergie. An Land sind Pflanzen zwar einer stärkeren Strahlung ausgesetzt, es besteht jedoch die Gefahr des Austrocknens. Landpflanzen aufgrund der Entwicklung einer komplexen Substanz namens Lignin. Durch die Beschichtung ihrer mikroskopisch kleinen Transportgefäße trug Lignin dazu bei, wasserdichte Röhren zu bilden, die Wasser und Mineralien den Stamm hinauf transportieren konnten. Verholzte Gefäße waren auch körperlich stark, sodass diese neuen Pflanzen vertikal wuchsen und sich verzweigten. Auch robuste Gefäße wuchsen nach unten, da stärkere, verzweigte Wurzeln in den Boden eindrangen, um das Gewicht zu verankern und gelöste Mineralien aufzunehmen. Viele dieser höheren Pflanzen waren bereits besser zum Leben geeignet entwickelten eine wachsartige, wasserfeste Beschichtung auf ihrer Epidermis – der Oberflächenhaut der Zellen. Poren in der Epidermis, sogenannte Stomata, trugen dazu bei, Gase für Prozesse wie die Photosynthese (siehe S. 114–15) und die Atmung in Bewegung zu halten. Die frühesten Landpflanzen, wie die heutigen Moose und Leberblümchen, konnten das Land nur mit kriechenden Stängeln umarmen. Sie hielten sich dort mit Rhizoiden fest – mikroskopisch kleine Haare, die kaum in den Boden eindrangen und als Urwurzeln fungierten.

AUFRECHT STEHEN

Um aufrecht zu stehen, ist Kraft erforderlich. Pflanzenzellen sind von einem Gerüst aus zäher, faseriger Zellulose umgeben, und die stellenweise Verdickung dieser Wand trägt dazu bei, dass die Stängel ein gewisses Gewicht tragen können. Moose können dies zwar, sie können jedoch nur wenige Zentimeter in die Höhe wachsen. Anderen Pflanzen gelang es, durch die Produktion von Samen größere Flächen anzubauen. Aber verdicktes verholztes Gewebe, Holz genannt, trug dazu bei, dass Stämme dicker und Bäume noch höher wurden.

View attachment 7909

◀ Starrer Stamm Ein Querschnitt einer versteinerten Pflanze (Rhynia gwynnevaughanii) aus der Devon-Zeit um etwa 410 MYA zeigt wasserdichte Röhren, die Wasser und Nährstoffe leiteten.

DIE NEANDERTALER

View attachment 8042Die Neandertaler sind nur einer unserer nahen Verwandten unter den Menschen, spielen aber seit Jahrhunderten eine besondere Rolle in unserem Verständnis der Menschheitsgeschichte. Das Studium dieser alten Menschen, die so lange erfolgreich waren, hat unsere Sicht auf uns selbst verändert.

Der Zweig des Homininenbaums, der zu den Neandertalern und dem Homo sapiens führte, erschien vor etwa 600.000 Jahren, und die frühesten Beispiele „Neandertaler-ähnlicher" Merkmale tauchten vor fast 400.000 Jahren auf. Diese zeigen sich in einer Fülle von Neandertaler-Fossilien – einer der größten Sammlungen aller Menschenarten –, die Teile von mehr als 275 Individuen und einige einigermaßen vollständige Skelette umfasst. Anatomisch gesehen unterschieden sie sich von uns auf subtile Weise: Sie hatten einen etwas größeren Schädel, ein weniger hervorstehendes Kinn, aber voluminösere Augenbrauenwülste. Auch in der Zahnform gab es Unterschiede. Neandertaler waren typischerweise kleiner als Homo sapiens und hatten einen runderen Brustkorb, anders proportionierte Arme und Beine sowie größere Fingerspitzen. Angezogen hätten sie uns jedoch sehr ähnlich gesehen.

Vielfältige Jäger Neandertaler werden oft als Lebewesen der Eiszeit dargestellt, doch ihre Verbreitungsgebiete waren weitaus größer. Sie durchlebten Zyklen von Eiszeiten und Zwischeneiszeiten (einige sogar wärmer als heute) und waren in Laubwäldern ebenso zu Hause wie in offenen Steppen. Tundra. Es sind viele Hundert Neandertaler-Stätten bekannt, die sogar in Wales, Israel, Sibirien und Usbekistan liegen. Aufgrund der Komplexität der Datierung ist es schwierig festzustellen, welche Standorte die jüngsten sind, aber es scheint, dass die letzten Neandertaler vor etwa 30.000 Jahren lebten. Was ihr Schicksal betrifft, gelten sie nicht mehr als „ausgestorben", da die Analyse des Kerngenoms zeigt, dass Menschen und Neandertaler kreuzten sich wiederholt zu unterschiedlichen Zeiten und an unterschiedlichen Orten. Wahrscheinlich ist heute auf der Welt – beim Menschen – mehr Neandertaler-DNA überlebt als jemals zuvor, als Neandertaler auf der Erde lebten. Eine weitere Veränderung vollzog sich in unserer Sicht auf die Kultur und die kognitiven Fähigkeiten der Neandertaler. Ihre Steinwerkzeuge waren alles andere als grob oder unveränderlich. Stattdessen zeigt es regionale Vielfalt und Entwicklung im Laufe der Zeit. Sie stellten Klingen, die ersten mehrteiligen Werkzeuge, das erste synthetische Material (Birkenrindenkleber) und verschiedene Holzutensilien her. Zweifellos waren sie auch Spitzenjäger, deren Ernährung je nach Wohnort unterschiedlich war und viele Pflanzen und Kleinwild wie Schildkröten umfasste. Die Tatsache, dass Menschen wiederholt Beziehungen zu Neandertalern hatten und die daraus resultierenden Kinder überlebten, legt nahe, dass sie kognitiv nicht fremd gewesen sein können. Sie verwendeten rote und schwarze Pigmente, sammelten Muscheln und hatten ein besonderes Interesse an den Federn und Klauen von Vögeln, insbesondere von großen Greifvögeln. Andererseits gibt es keine Neandertaler-Kunst, die mit der Arbeit späterer menschlicher Populationen der Eiszeit vergleichbar wäre, und dies könnte auf einen Unterschied in den kognitiven Fähigkeiten hinweisen. Die Gründe für ihr Verschwinden dürften vielfältig und komplex sein, darunter Konkurrenz um Nahrung, klimatischer Stress und Krankheiten.

VERLETZUNGEN BEIM NEANDERTALER SKELETTE FOLGEN A MUSTER ÄHNLICH DEM VON MODERNE RODEO-REITER

View attachment 8037

▲ Adlerkrallenschmuck Acht Adlerkrallen wurden in einer 300.000 Jahre alten Neandertalerhöhle in Kroatien gefunden. Reibspuren deuten darauf hin, dass sie einst aneinandergereiht waren.

View attachment 8038

▶ Das Neandertal Die Neandertaler haben ihren Namen vom Neandertal in der Nähe von Düsseldorf, Deutschland, wo 1856 in einer Höhle einige der frühesten fossilen Überreste der Art gefunden wurden.

▶ Eine andere Art von Menschen Die Neandertaler hatten eine bemerkenswerte Ähnlichkeit mit dem Homo sapiens, mit dem sie sich über Jahrtausende hinweg vermehrten. Bis zu 20 Prozent ihrer DNA können heute im Menschen überleben.

View attachment 8039

Anatomie des Neandertalers
Der Brustkorb zeigt, dass Moshe eine tonnenförmige Brust und große Lungen hatte. Es wurde angenommen, dass europäische Neandertaler als Anpassung an die Kälte große Lungen entwickelt hatten. Das Leben in kalten Klimazonen verbraucht viel Energie und benötigt mehr Sauerstoff, um energiefreisetzende Reaktionen im Körper anzutreiben; Große Lungen tragen auch dazu bei, die eingeatmete Luft zu erwärmen und zu befeuchten. Da Moshe jedoch im gemäßigteren östlichen Mittelmeerraum lebte, lehnen einige Wissenschaftler diese Theorie mittlerweile ab. Sie legen nahe, dass die große Lunge ein vorhandenes anatomisches Merkmal war, das von früheren afrikanischen Menschenmenschen geerbt wurde und Neandertaler für einen energiegeladenen Jagdlebensstil ausrüstete. Wahrscheinlich half es ihnen jedoch, die kühleren Teile Europas zu kolonisieren.

View attachment 8040Dating-Techniken
Archäologen wenden eine Reihe von Techniken an, um Überreste zu datieren. Zwei davon, Thermolumineszenz (TL) und Elektronenspinresonanz (ESR), messen die Menge an Strahlungsschäden in Form von Elektronen, die sich im Laufe der Zeit in einem Material durch Hintergrundquellen und kosmische Strahlung ansammeln. Während TL für Steinwerkzeuge verwendet wird, wird ESR für menschliche und tierische Zähne verwendet. Tests an verbrannten Feuersteinen und Gazellenzähnen, die in Kebara gefunden wurden, deuten darauf hin, dass das Skelett etwa 60.000 Jahre alt ist. Ein Techniker führt eine TL-Analyse einer Probe durch

View attachment 8041

▲ Einzigartiges Zungenbein Moshes Zungenbein ist praktisch identisch mit dem des Homo sapiens. Beim modernen Menschen verankert dieser Knochen, der im Knorpel rund um den Kehlkopf verwurzelt ist, die Halsmuskulatur, die das Sprechen erleichtert. Das Kebara-Zungenbein lässt vermuten, dass Neandertaler auch über Sprachfähigkeiten verfügten (siehe S. 202–2003).

Beigesetzt

Skelette mit gegliederten (verbundenen) Knochen, die in unterschiedlichen Kontexten, beispielsweise in Gruben, gefunden werden, weisen auf absichtliche Bestattungen hin. Bei Moshe waren die vorhandenen Körperteile größtenteils noch korrekt zusammengefügt und empfindliche Knochen wie das Zungenbein waren intakt. Da es keine Spuren von Fleischfressern gab, war der Körper nicht von einem Tier geplündert oder zu seinem Ruheplatz geschleppt worden. Auch die Körperhaltung und die Tatsache, dass sich das Fleisch an Ort und Stelle zersetzt zu haben scheint, deuten darauf hin, dass Moshe nach seinem Tod absichtlich in die Grube gelegt wurde. Da keine Grabbeigaben gefunden wurden, können wir nicht darauf schließen, dass mit der Bestattung irgendwelche Rituale (siehe S. 218–219) verbunden waren.

Harte Beweise | WENLOCK KALKSTEIN

View attachment 7913Nur wenige Organismen hinterlassen versteinerte Spuren, aber an manchen Orten haben die Bedingungen außergewöhnliche Schnappschüsse ganzer Gemeinschaften bewahrt. Ihre wunderbaren Fossilien – reich an Arten und fein detailliert – bieten seltene Einblicke in die Art und Weise, wie Gruppen von Tieren und Pflanzen lebten und starben.

Wenlock Edge – ein Kalksteinfelsen an der walisisch-englischen Grenze – beherbergt ein Beispiel einer solchen Fossiliensammlung oder Lagerstätte. Es ist voller Tiere eines tropischen Riffs aus mehr als 420 MYA. Zu dieser Zeit befand sich der Standort an der Küste des alten Iapetus-Ozeans, wo sich viele Tiere der Erde entwickelt hatten. Die Fossilien zeigen, dass in den warmen Untiefen Korallen, Schwämme, Trilobiten und Brachiopoden gediehen. Lagerstätten bilden sich unter bestimmten Bedingungen, die die Konservierung begünstigen. Die Wenlock-Sammlung umfasst hartschalige Tiere, die zerbrochen oder entwurzelt wurden – was darauf hindeutet, dass krachende Wellen am Fuß eines Abhangs Trümmer im Schlamm hinterlassen haben. Das bedeutet, dass eine einzelne Wenlock-Platte Tiere enthalten könnte aus verstreuten Orten. Andere Lagerstätten können die Gemeinden intakt halten. Der Burgess-Schiefer in den kanadischen Rocky Mountains weist Weichkörperabdrücke von Tieren auf, die vor 508 MYA in Schlammlawinen erstickt wurden. Obwohl ihre Orientierung chaotisch ist, deuten die Körperhaltungen darauf hin, dass sie sofort getötet wurden. Aber nicht alle Lagerstätten sind das Ergebnis gewaltsamer Massaker. Die Green River-Formation in Nordamerika besteht aus 50 Millionen Jahre alten Sedimenten, die in Seebecken zurückgeblieben sind und Fische, Blätter, Insekten und sogar kleine Vögel mit Federn enthalten. Die sauerstoffarmen Bedingungen im Seebodenschlamm verlangsamten die bakterielle Zersetzung und ermöglichten die unversehrte Versteinerung empfindlicher Teile. Der gleiche Vorgang ereignete sich zu einer ähnlichen Zeit im Messeler See in Deutschland.

View attachment 7910

Ausgestorbene Tiere identifizieren

Eine Fülle von Fossilien aus demselben Alter hilft nicht nur, das Zusammenleben prähistorischer Tiere zu rekonstruieren, sondern trägt auch dazu bei, ihre Vielfalt aufzuklären. Arten werden anhand von Exemplaren beschrieben – fossile Exemplare sind jedoch häufig unvollständig. Wenn so viele Individuen zusammen konserviert werden, haben Biologen einen besseren, repräsentativeren Blick auf die Anatomie – was ihnen hilft, eine Art von einer anderen zu unterscheiden.

Riesige fliegende Ameise mit schillernden Farben intakt

View attachment 7911

View attachment 7912

◀ Messel-Seegrube Die Stätte von Messel, Deutschland, zeigt eine sehr gute Erhaltung einer Gemeinde, die 47 MYA lebte. Zu den besonderen Bedingungen gehörte, dass aus dem See giftiges Gas austrat, das nicht nur Tiere sofort tötete, sondern auch dafür sorgte, dass keine lebenden Aasfresser die gefallenen Überreste fraßen, bevor sie mineralisiert wurden.

Vogel komplett mit versteinerten Federn Frosch, inklusive Umriss weicher Körperteile

View attachment 7914

View attachment 7915

Den Flügel neu erfinden

View attachment 7924Oft sind die im Leben beobachteten Ähnlichkeiten das Ergebnis eines gemeinsamen Vorfahren, aber nicht immer. Beispielsweise entwickelten sich die zum Fliegen erforderlichen Flügelschläge unabhängig voneinander in mindestens vier Tiergruppen zu unterschiedlichen Zeitpunkten und ermöglichten es ihnen, in die Luft zu fliegen.

Organismen entwickeln Anpassungen, die sie besser an ihren Lebensstil anpassen. Manchmal kann die natürliche Selektion die gleiche Innovation in getrennten, nicht miteinander verbundenen Gruppen hervorbringen. Das ist konvergente Evolution.

EIGENSCHAFTEN TEILEN

Alle Pflanzen, die Samen produzieren, haben einen gemeinsamen Vorfahren – so wie auch die Stacheln von Quallen und Korallen verwandt sind. Aber manchmal kann die natürliche Selektion eine ähnliche Anpassung bei nicht verwandten Gruppen hervorrufen – etwa bei den Flossen schwimmender Ichthyosaurier (Reptilien) und Delfine (Säugetiere). Wenn verschiedene Lebensformen, die in unterschiedlichen Umgebungen oder sogar in unterschiedlichen Zeiträumen leben, eine anatomische oder verhaltensmäßige Ähnlichkeit aufweisen, liegt das oft daran, dass sie in ähnlichen Umgebungen leben, die bestimmte Anpassungen erfordern. Obwohl sie Millionen von Jahren gelebt haben Abgesehen davon mussten sowohl Ichthyosaurier als auch Delfine schnelle Schwimmer sein, um Raubtieren zu entkommen und schnelle Beute zu fangen, und entwickelten daher Flossen.

VOLVING-FLUG

Insekten waren die ersten Tiere, die flogen, und sie sind die einzigen Flieger, die Flügel entwickelten, die nicht aus vorhandenen Gliedmaßen gewonnen wurden. Wirbeltiere wurden zu Fliegern, indem sie ihre vorhandenen Gliedmaßen umgestalteten. Ihre Vorderbeine und Hände entwickelten sich im Laufe der Zeit zu verschiedenen Arten von Flügeln. Den Flugsauriern gelang dies wahrscheinlich zuerst und sie wurden zu den bekanntesten Reptilienfliegern, bevor sie zusammen mit den Dinosauriern ausstarben. Vögel entwickelten sich aus zweibeinigen Dinosauriern und es ging ihnen besser. Sie überlebten das gleiche Aussterben, möglicherweise aufgrund ihrer Warmblüter, um neben Säugetieren zu gedeihen und sich in ein breites Artenspektrum zu diversifizieren. Säugetiere entwickelten später eine der spezialisierteren Gruppen fliegender Tiere – Fledermäuse –, von denen die meisten nachts in die Luft fliegen und Sonar oder Echoortung nutzen, um in der Dunkelheit zu navigieren und zu jagen.

View attachment 7925

View attachment 7926

View attachment 7927

View attachment 7928

View attachment 7929

View attachment 7930

View attachment 7931

View attachment 7932

▲ Wie haben sich Flügel entwickelt? Die frühesten Protoflügel waren Klappen am Körper von Insekten, die früher als Kiemen oder als Ruder dienten und es ihnen ermöglichten, über Wasser zu gleiten. Kletternde Insekten nutzten sie möglicherweise zum Fallschirmspringen durch die Luft, bevor sie Schlagflügel entwickelten, die ihnen eine bessere Luftkontrolle ermöglichten. Flugsaurier, Vögel und schließlich Fledermäuse gelangten nicht dadurch in die Luft, dass sie neue Gliedmaßen züchteten, sondern indem sie bestehende anpassten.

Fledermäuse haben mehr Fingerknochen als andere fliegende Wirbeltiere. Ihre Flügel werden von vier Fingern getragen. Dadurch ist ihre Form flexibler als die Flügel von Vögeln und hilft ihnen, sich auf eine Weise zu bewegen, die ihre Manövrierfähigkeit verbessert und Energie spart.

View attachment 7933

View attachment 7934

> “ VOLLSTÄNDIG GESCHÜTZT EMBRYO IM SAMEN BIETET... EINEN GROSSEN VORTEIL
>
> Douglas Houghton Campbell, Amerikanischer Botaniker, 1859–1953

View attachment 7935

View attachment 7936

DIE ERSTEN SAMEN

View attachment 7937

◀ Affenrätsel Dieser versteinerte Zapfen ist 160 Millionen Jahre alt, weist jedoch bemerkenswerte Ähnlichkeit mit den Zapfen auf, die heute von Bäumen produziert werden. Diese Art, Araucaria araucana, ist als Puzzleaffe bekannt und gedeiht immer noch in Argentinien und Chile.

Vor etwa 370 Millionen Jahren entwickelte sich eine neue Pflanzenart. Dabei wurden Samen produziert, die das ultimative Überlebenspaket für Embryonen darstellen – vollgepackt mit Nährstoffen und umhüllt von einer Schutzhülle. Samen würden die Geschichte des Lebens prägen und eine Schlüsselrolle in unserer eigenen Vorgeschichte spielen.

Die ersten algenähnlichen Pflanzen absolvierten ihren gesamten Lebenszyklus – abwechselnd Sporen und Gameten (Eier oder Spermien) – unter Wasser. Als ihre Nachkommen, Moose und Farne, weiter landeinwärts krochen, konnten widerstandsfähigere Sporen in der Luft verteilt werden. Allerdings brauchten ihre Spermien immer noch Wassertröpfchen, um zur Eizelle zu schwimmen: Auch wenn ihre tiefen Wurzeln und robusten Blätter ihnen dabei halfen, Dürreperioden zu überstehen, brauchten Pflanzen immer noch periodische Regenfälle, um sich zu vermehren. Eine neue Pflanzenart durchbrach diese restriktive Bindung an das Wasser, indem sie ihre Düngung in Fortpflanzungstriebe außerhalb des Bodens verlagerte. Weibliche Triebe behielten ihre Sporen, die zu Eiern heranwuchsen. Sporen männlicher Triebe wurden zu Pollenkörnern, die ins Landesinnere geweht wurden, um auf weiblichen Trieben zu landen. Bei den urtümlichsten Samenpflanzen lösten sich die Spermien dann aus den Pollenkörnern und schwammen durch den Spross zum Ei – etwas, das auch heute noch bei Palmfarnen zu beobachten ist. Aber in den meisten Samenpflanzen wurden Spermien überflüssig. Stattdessen spross aus jedem Pollenkörner ein winziger Faden – ein Pollenschlauch –, der ein nacktes Männchen transportierte Zellkern direkt zum Ei, das Schwimmen entfällt ganz. Pollen ermöglichten es Pflanzen, sich weiter im Landesinneren auszubreiten als ihre wasserabhängigen Verwandten. Darüber hinaus vollendeten diese Pflanzen ihre Pause vom Wasser, indem sie die Embryonen ihrer nächsten Generation in dürreresistenten Hüllen – Samen – hielten.

WIE SAMEN FUNKTIONIEREN Eier entwickeln sich in einem dünnwandigen Beutel, der Eizelle genannt wird. Nachdem Pollen eine Eizelle befruchtet haben, verdicken sich ihre Wände und es entsteht ein Samen. Zunächst wuchsen die Samenanlagen freiliegend auf Blättern oder den Schuppen von Zapfen – Fortpflanzungstriebe, die aus harten Schuppen bestanden, die an ihrer Basis verbunden waren, genau wie die Zapfen, die heute von Palmfarnen und Nadelbäumen produziert werden. Schließlich vergruben die meisten Samenpflanzen ihre Eizellen tiefer im Trieb, unter einer Blüte (siehe S. 160–61). Wenn sich diese Eizellen in Samen verwandeln, wird das saftige Gewebe um sie herum zu Früchten. Samenpflanzen hatten nun eine Methode entwickelt, Tiere, eine andere Form komplexen Lebens, dazu zu verleiten, Teil ihrer Lebensstrategie zu werden (siehe S. 164–65).

SAMEN, IHR ERFOLG UND UNS Sowohl die Pollendüngungsmethode als auch die Samenverbreitungsmethode waren so erfolgreich, dass Samenpflanzen heute die Grundlage aller

Landökosysteme und Nahrungsnetze weltweit bilden, einschließlich derjenigen, an deren Spitze der Mensch steht. Nicht-Samenpflanzen – Moose, Farne und Leberblümchen – sind zwar weit verbreitet, dominieren jedoch keine Landlebensräume mehr.

View attachment 7938

◀ Primitive Samenpflanzen Die ersten Samenpflanzen werden aufgrund der Form ihrer Blätter Samenfarne genannt, obwohl sie nichts mit den Farnen zu tun haben, die wir heute kennen. Sie ließen ihre Eizellen in Paketen wachsen, die an den Blättern befestigt waren. In späteren Pflanzenarten entwickelten sich schließlich Zapfen und Blüten.

View attachment 7939

View attachment 7940

Es entstehen geschälte Eier

View attachment 7941

View attachment 7942

Die ersten Tiere mit Rückgrat, die an Land lebten, konnten laufen, da sie Beine hatten und Luft atmen konnten. Diese frühen Amphibien waren jedoch noch an das Wasser gebunden, da sie zum Brüten einen feuchten Ort brauchten. Reptilien durchbrachen diese Verbindung, indem sie hartschalige Eier produzierten, die sich auf dem Trockenen entwickeln konnten.

Tiere mit Rückgrat haben ihren Ursprung im Wasser, wo Fische und Amphibien ihre weichen Eier nur von einer schützenden Gallerte umhüllt ablegten. Reptilien entwickelten nicht nur eine harte, schuppige, wasserdichte Haut zum Schutz vor Austrocknung, sondern veränderten auch ihre Fortpflanzungsgewohnheiten. Sie bedeckten ihre Eier mit einer Schale, die hart genug war, um den Embryo an Land zu schützen und zu enthalten, aber dennoch durchlässig genug, damit er atmen konnte.

EMBRYO-ÜBERLEBENS-KIT

Die geschälten Eier der meisten Reptilien und aller Vögel sind erstaunliche Gebilde, die alle Embryonen enthalten, die sie zur Entwicklung benötigen. Bis zur Erfindung dieser Eier entwickelten sich alle lebenden Embryonen umgeben von Flüssigkeit. Um diese Flüssigkeitsbedingungen an Land zu reproduzieren, war es ein kleiner und überschaubarer Evolutionsschritt, die Flüssigkeit in eine Membran einzuschließen. Die Membran wird Amnion genannt, was den ersten Tieren, die sie besaßen, den Namen „Amnioten" gab, ebenso wie den bekannteren „Reptilien". Innerhalb der Eizelle verfügt der Embryo ebenso wie Fische und Amphibien über eine eigene Speisekammer, den Dottersack. Es gibt aber auch einen Allantois – einen Abfallbeutel, der bei seinen Vorfahren nicht vorhanden war. Der Dottersack wird kleiner und die Allantoispflanze vergrößert sich, da sie Sauerstoff aufnimmt und Abfallprodukte ansammelt, während der Embryo wächst. Eine letzte Membran – das Chorion – dient dazu, die gesamte „Überlebensausrüstung" des Embryos aufzunehmen. Wenn Reptilien schlüpfen, sind sie bereit, ein unabhängiges Leben zu führen; Andererseits benötigen die meisten Vogelküken elterliche Fürsorge Zeit. Aber in beiden Fällen sind die Jungtiere bereit zum Essen und Atmen, sobald sie aus dem Ei schlüpfen.

FÜR LAND VORBEREITET

Das geschälte Ei und seine lebenserhaltenden Membranen ermöglichten es den Amnioten, ihren Lebenszyklus an Land abzuschließen. Sie paarten sich an Land und legten ihre Eier in ein trockenes Nest. Einige lebende Reptilien haben ihre Art der Eiablage aufgegeben und bringen lebende Junge zur Welt.

DAS ERSTE TIER Gedacht, geschält zu liegen EIER IST PALEOTHYRIS, AN AMNIOTE LEBEN 330 MYA

Aber eine Gruppe von Amnioten, die Säugetiere, machte die Lebendgeburt zu einem großen Vorteil. Sie beschlagnahmten zwei Membranen – die Allantois- und die Chorionmembran – in eine

Plazenta, die Sauerstoff und Nahrung direkt aus dem Blut der Mutter bezieht. Durch die Aufzucht des Embryos im Körper der Mutter verbesserten Säugetiere die Überlebenschancen ihrer Nachkommen über die ihrer larvenproduzierenden Vorfahren hinaus.

View attachment 7943

WIE SICH DIE SPRACHE ENTWICKELT HAT

View attachment 8062
Viele Tiere rufen einander mit Lauten zu, die für „Gefahr!", „Essen!" oder „Hier!" stehen, aber nur Menschen können konzeptionell denken – können beispielsweise über die Natur von Nahrung oder Gefahr sprechen. Dafür musste sich die Sprache weiterentwickeln, und mit ihr kamen das Geschichtenerzählen, der Informationsaustausch und unsere ersten Versuche, die Welt zu verstehen.

Evolutionsgeschichtlich gesehen entstand die Fähigkeit zum Sprechen durch die Absenkung des Kehlkopfes des Menschen in den Rachenraum, was es unseren Vorfahren ermöglichte, vielfältigere Laute zu erzeugen als die aller anderen Primaten. Der biologische Preis dafür war hoch, da ein erhöhter Kehlkopf es uns ermöglicht hatte, gleichzeitig zu atmen und zu schlucken; Jetzt bestand die Gefahr, dass wir beim Essen erstickten. Gleichzeitig veränderte sich auch das Zungenbein, das den Kehlkopf mit der Zungenwurzel verbindet, in einer Weise, die die Lautäußerung erleichterte. Den Fossilienfunden zufolge geschah dies vor 700.000 bis 600.000 Jahren, da Neandertaler und wahrscheinlich auch unser gemeinsamer Vorfahre beide ein „modernes" Zungenbein hatten. Aus dieser Zeit scheint auch unsere außergewöhnliche Atemkontrolle zu stammen, die beim Sprechen unerlässlich ist. Abgüsse fossiler Schädel zeigen, dass Neandertaler Strukturen im Gehirn hatten, die unserem eigenen „Broca-Gebiet" entsprachen. Dieser Bereich ist für das Sprechen und Verstehen von Sprache sowie für die Wahrnehmung bedeutungsvoller Gesten von entscheidender Bedeutung. In der Tat könnten Gesten von entscheidender Bedeutung gewesen sein: Studien zeigen, dass Schimpansen beim Vokalisieren wiederholt Handzeichen verwenden, was darauf hindeutet, dass die frühe Sprache möglicherweise nicht rein vokal war. Die von verschiedenen Teilen des Gehirns ausgeführten Funktionen können sich jedoch im Laufe der Zeit ändern. Selbst wenn andere Homininen ähnliche Gehirnstrukturen wie wir hatten, wurden sie möglicherweise nicht für die Sprache verwendet.

HEUTE GIBT ES FAST 7.000 SPRACHEN, ABER JEDE VERWENDET NUR EINE KLEINE ANZAHL DER KLÄNGE, DIE A DER MENSCH KANN MACHEN

View attachment 8063

View attachment 8064▲ Wie Menschen Sprache verarbeiten Die Entstehung der Sprache erforderte die Entwicklung mehrerer Schlüsselstrukturen im Hals und im Gehirn. Dazu gehörte auch das Zungenbein, das für die Erzeugung unterschiedlicher Stimmlaute von entscheidender Bedeutung ist.

SYMBOLE ALS BEWEIS
Die von unseren Vorfahren hinterlassenen Artefakte sind bessere Beweismittel. Zu den

auffälligsten gehören diejenigen, die vor 100.000 bis 50.000 Jahren vom frühen Homo sapiens in Südafrika geschaffen wurden. In der Blombos-Höhle beispielsweise wurden rote Ockerblöcke geformt und sorgfältig mit zarten Kreuzschraffurmustern bedeckt (siehe S. 207). Noch beeindruckender sind die Straußeneierschalen, die in der Diepkloof-Höhle, ebenfalls in Südafrika, gefunden wurden (siehe S. 208). In diese wurden komplexe geometrische Muster eingraviert, die Veränderungen im Laufe der Zeit zeigen und auf Bedeutungsverschiebungen hinweisen. Sehr viel älter als diese ist jedoch eine Muschel aus Trinil, Indonesien, die die eingeschnittenen Zick-Zack-Zeichnungen eines Homo erectus trägt, der vor etwa 540.000–430.000 Jahren lebte (siehe S. 206). Daraus geht hervor, dass der gemeinsame Vorfahre mehrerer Homininen grafische Symbole verwendete und daher wahrscheinlich eine Sprache entwickelt hatte – eine Tatsache, die durch anatomische Beweise gestützt wird. Eine andere Art symbolischer Beweise sind persönliche Ornamente, die häufig soziale Bedeutungen kommunizieren – beispielsweise über den persönlichen Status oder die Gruppenzugehörigkeit –, die nur durch Sprache festgestellt werden können. Beispielsweise erfolgt die erste Verwendung von Muschelperlen gleichzeitig mit der zunehmenden Verbreitung von Gravuren; Perlen aus der Skhul-Höhle in Israel stammen aus der Zeit vor 135.000–100.000 Jahren, während die Perlen aus der Grotte des Pigeons in Marokko aus der Zeit vor 80.000 Jahren stammen. Auch in der Blombos-Höhle wurden Gruppen von Perlen aus Schichten ausgegraben, die etwa 80.000 Jahre alt sind. Viele weisen Polierstellen auf, die darauf hindeuten, dass sie möglicherweise als Halsketten aneinandergereiht waren. Die Markierungen zeigen auch, dass sich die Anordnung der Perlen im Laufe der Zeit veränderte, was nicht nur darauf hindeutet, dass sie symbolisch waren, sondern dass sich ihre Bedeutung wie die der Diepkloof-Eierschalen weiterentwickelte.

VON SYMBOLEN ZU GESCHICHTEN Insgesamt zeigen die Beweise, dass der Homo sapiens bereits vor 70.000 Jahren eine symbolische Kultur und Sprache entwickelt hatte – und dass die Neandertaler dies unabhängig taten. Der Beweis dafür, dass Sprache im narrativen, geschichtenerzählenden Sinne verwendet wird, kommt jedoch erst viel später, nämlich vor 45.000 Jahren. Zum Beispiel die berühmte Elfenbeinstatue des Löwenmannes aus Hohlenstein-Stadel, Deutschland (siehe S. 208) wurde vor etwa 40.000 Jahren geschnitzt. Es verschmilzt einen Löwenkopf mit einem menschlichen Körper und deutet sowohl auf einen fantasievollen Sprung des Künstlers als auch auf eine Erzählung hin, die ihm Bedeutung verleiht. Die auffälligsten Beispiele paläolithischer Erzählungen stammen aus der späteren europäischen Höhlenkunst. Eine Szene, die vor etwa 17.000 Jahren in Lascaux, Frankreich, gemalt wurde, zeigt einen verwundeten Bison, der eine männliche Figur angreift, die über einigen umgestürzten Speeren und einer von einem Vogel gekrönten Linie liegt. Es gibt viele Interpretationen der Szene, aber alle sind sich einig, dass der Mann, der Bison und der Vogel nur im Kontext des Geschichtenerzählens Sinn ergeben. Dieses und andere Beispiele weisen darauf hin, dass reiche mündliche Überlieferungen voller Bedeutung und Symbolik Teil des paläolithischen Lebens waren, und zwar wahrscheinlich schon seit vielen tausend Jahren. Es waren unsere ersten Versuche, die Welt um uns herum zu ergründen – ihr eine erzählerische Form zu geben.

View attachment 8065

◀ Fast sprechend Campbell-Affen aus der Elfenbeinküste scheinen kurz davor zu stehen, zu sprechen. Sie verfügen über eine „Proto-Syntax" bestehend aus Alarmrufen, mit deren Hilfe sie detaillierte Informationen übermitteln – etwa welche Art von Raubtier kommt und wie es entdeckt wurde.

> Ein komplexer Gedankengang kann nein sein MEHR OHNE WORTE AUSGEFÜHRT… ALS A BERECHNUNG OHNE ZAHLENVERWENDUNG.
>
> Charles Darwin, Der Abstieg des Menschen, 1871

View attachment 8066

◀ Der Vogelmann von Lascaux Dieses seltsame Bild eines etwa 17.000 Jahre alten Mannes – offenbar als Vogel gekleidet –, der von einem Bison angegriffen wird, ist wahrscheinlich ein Beweis für das Geschichtenerzählen. Es kann auch eine schamanische Erfahrung zeigen..

View attachment 8067

WIE KOHLE ENTSTEHT

View attachment 7944

View attachment 7945

Die Bäume, die die ersten Wälder der Erde bildeten, waren riesige, farnartige Pflanzen, die dem Verfall widerstanden. Ihre Leichen sammelten sich an und schlossen Kohlenstoff und Energie unter der Erde ein. Das waren die Kohlewälder – und 300 Millionen Jahre später sollten ihre verdichteten Überreste eine industrielle Revolution auslösen.

Die Karbonzeit (359–299 MYA) war eine Zeit, in der das Leben an Land mehr blühte als je zuvor. Bäume wuchsen aus moosähnlichen Vorfahren, Insekten flogen in einer Welt voller Wirbelloser in die Luft und riesige Amphibien entwickelten sich zu Reptilien. Dieses Mal in der Erdgeschichte hätte enorme Auswirkungen auf unsere eigene Geschichte.

DIE ERSTEN WÄLDER

Zum ersten Mal konnte Landleben in den Bäumen leben, was den Lebensräumen einen zusätzlichen Reichtum verlieh. Die ersten großen Invasionen von Landtieren, darunter Tausendfüßler, Insekten und Spinnentiere, hatten bereits stattgefunden, aber jetzt explodierten diese Gruppen in einer Vielzahl von Arten, darunter auch Raubtiere wie Spinnen, Skorpione und Tausendfüßler. Karbonbäume konnten hoch wachsen, weil sie ein zähes Stützmaterial namens Lignin entwickelt hatten, das eine Schutzschicht bildete. Es würde schließlich auch zum Kohlenstoff- reichhaltiger Energiespeicher, der Kohle bildete. Die Bäume konzentrierten Lignin in ihrem Gewebe auf mehr als das Zehnfache der Menge, die in heutigen Bäumen vorkommt. Dies trug nicht nur dazu bei, Pflanzenfresser abzuschrecken, sondern es widerstand auch dem Verfall, da nur wenige Mikroben es verdauen konnten. Als Bäume starben, blieben ihre umgestürzten Stämme zurück. Das Lignin würde zusammen mit dem darin enthaltenen Kohlenstoff bei seinem Zerfall in Kohlendioxid (CO_2) umgewandelt, versinke jedoch in der sumpfigen Erde und sperre seine chemische Energie ein. Während das CO_2 in der Atmosphäre abnahm, nahm der Sauerstoff zu, da dieser normalerweise durch dieselben Zersetzungsprozesse verbraucht würde, die jetzt unterdrückt wurden. Sauerstoff baute sich in der Luft auf und machte volumenmäßig mehr als ein Drittel aus. Heute macht Sauerstoff nur noch ein Fünftel des Gases in der Atmosphäre aus. Die Auswirkungen solch hoher Sauerstoffwerte wären bizarr gewesen. Die Entzündung wäre leichter erfolgt und hätte Waldbrände ausgelöst. Tiere, die auf passives Atmen durch ihre Haut oder Körperoberfläche angewiesen waren, wurden riesig. Die größten Insekten, die je gelebt haben, entwickelten sich im Karbon, und Amphibien erreichten die Größe von Krokodilen.

View attachment 7946▶ Kohleentstehung Kohle entstand als unzersetztes Material aus toten Bäumen. Das abgestorbene Material wurde vergraben, während sich oben neues totes Material ansammelte und unter hohem Druck verdichtete. Im Laufe von Jahrmillionen wandelte sich das Material bei steigendem Druck und steigender Temperatur zunächst in das Gestein Braunkohle und schließlich in Kohle um.

LEPIDODENDRON BÄUME WACHSEN BIS ZU 40 M (130FT) HOCH IN DER KOHLENSTOFFZEIT

DIE URSPRÜNGE DER KOHLE

Ein Großteil der Karbonbäume versank unversehrt im sumpfigen Wasser und bildete Schicht für Schicht eine Ablagerung namens Torf. Im Torf war der Sauerstoffgehalt niedrig und der Säuregehalt hoch, und anstatt sich zu zersetzen, bildeten sich kohlenstoffreiche Überreste. Der Torf verdichtete sich unter seinem Eigengewicht, drückte Wasser und Gase heraus und verwandelte sich zunächst in eine Gesteinsform namens Braunkohle und schließlich in eine Gesteinsform namens Braunkohle zu einem härteren, dichteren Gestein mit einem besonders hohen Kohlenstoffgehalt: Kohle. Kohlevorkommen finden sich in Gesteinen, die aus der Zeit vor der Evolution der Landpflanzen stammen – und diese stammen wahrscheinlich von Algen. Aber besonders reichlich sind Kohlevorkommen aus der Karbonzeit vorhanden, wo die Bedingungen für ihre Bildung genau richtig waren.

View attachment 7947

View attachment 7948

◀ Prähistorische Energie Kohleschichten sind in diesem Kohlebergwerk am Niederrhein in Deutschland deutlich als dunkle Bänder zwischen dem Gestein zu erkennen.

Menschliche Zivilisationen erkannten möglicherweise bereits im Jahr 1000 v. Chr. das Potenzial der Verwendung von Kohle als Brennstoff aufgrund ihrer Ähnlichkeit mit Holzkohle. Beide könnten verbrannt werden, um viel Hitze freizusetzen. Der Kohlenstoff, der Millionen von Jahren in der Kohle eingeschlossen war, wurde schließlich als Kohlendioxid freigesetzt. Die Entstehung des groß angelegten Bergbaus (siehe S. 306–07) könnten Ablagerungen in Flözen weit unter der Oberfläche erschließen. Seitdem hat die Nachfrage nach der Verbrennung fossiler Brennstoffe in so kurzer Zeit so viel Kohlendioxid freigesetzt, dass es zu Funkenbildung kommt Sorgen um die Menschheit. Für eine wachsende Bevölkerung wird Energie benötigt – allerdings hat die Verbrennung fossiler Brennstoffe die Menge an Treibhausgasen erhöht und zur globalen Erwärmung beigetragen. Die heutige Zivilisation muss sich mit einem Umweltproblem auseinandersetzen, das sie selbst verursacht hat – und das die ganze Welt betrifft.

> “ KOHLE, ÖL UND GAS SIND... FOSSILE KRAFTSTOFFE, WEIL SIE ES SIND Meistens bestehend aus... fossilen Überresten... der Chemikalie Die Energie in ihnen ist eine Art gespeichertes Sonnenlicht Ursprünglich von alten Pflanzen angesammelt

> Carl Sagan, Astronom und Wissenschaftsautor, 1934–1996

▶ Inhaltsstoff von Kohle Der versteinerte Stamm der Pflanze Lepidodendron, einem häufig vorkommenden Baum im Karbon. Seinem hohen Stamm fehlte echte Rinde, er war jedoch durch eine Schicht zähen Lignins verdickt.

View attachment 7949

Harte Beweise | EIDECHSE IN BERNSTEIN

Spuren – oder Fossilien –, die in den Felsen und Steinen der Erde zurückgeblieben sind, sind ein Beweis dafür, dass ausgestorbene Arten nicht mit den heute lebenden Arten identisch waren. Wissenschaftler müssen Detektive werden, um herauszufinden, wie sie einst gelebt haben.

Mehr als 99 Prozent der Arten, die jemals auf der Erde gelebt haben, sind inzwischen ausgestorben. Das bedeutet, dass unser Wissen über die Geschichte des Lebens entscheidend von fossilen Beweisen abhängt. Fossilien können auf unterschiedliche Weise entstehen. Wenn tote Organismen vor dem Verzehr schnell im Sediment vergraben werden, verwandeln sie sich und das Sediment in Gestein. Wenn Kontinente über Millionen von Jahren ihre Position verändern, kann es sein, dass sich Gesteine, die diese Fossilien enthalten, verbiegen und anheben – wodurch die Fossilien freigelegt werden, da das umgebende Gestein erodiert wird. Der Versteinerungsprozess ist nie perfekt und die Qualität der Konservierung variiert stark. Ältere Arten mit weichem Körper hinterlassen zerbrechlichere Spuren als jüngere, härtere. Harte Teile von Der Körper, etwa das Skelett, ist höchstwahrscheinlich versteinert. Auch Fußabdrücke, Eier und Kot können Fossilien sein. Unter den richtigen Bedingungen können die empfindlichsten Merkmale wie Haut, Federn, Blätter oder sogar einzelne Zellen versteinert werden. Einige Fossilien können in Bernstein gefunden werden, wie zum Beispiel diese Eidechse. Bernstein ist das erstarrte Harz von Bäumen, das ausgehärtet ist, und Tiere, die darin erstickt und gefangen werden, können hervorragend konserviert werden. Paläontologen müssen bei der Interpretation fossiler Beweise berücksichtigen, wie ein Fossil entstanden ist. Hinweise aus verschiedenen Disziplinen wie Geographie und Anatomie werden untersucht, um ein Bild davon zu erhalten, wie verschiedene Arten von Organismen in der Vergangenheit lebten.

View attachment 7956Geschichte der Leiche

Das Studium der Taphonomie befasst sich mit Prozessen, die den Körper eines toten Tieres verändern, wenn dieser verfällt oder versteinert. Auch Baumharz ist organisch und verrottet daher ebenfalls. Dieser Harzklumpen versteinerte gut, da er kurz nach seiner Entstehung unter Sedimenten gepackt wurde. Dadurch blieb Yantarogekko perfekt erhalten und vor Aasfressern und Erosion geschützt.

View attachment 7955

View attachment 7957**Botanischer Hinweis**

Die Analyse dieses baltischen Bernsteins zeigt, dass er von einer Nadelbaumart produziert wurde, was darauf hindeutet, dass Yantarogekkos Lebensraum Nadelwälder waren. Das Vorhandensein des versteinerten Bernsteins weist darauf hin, dass diese Nadelbäume zu diesem Zeitpunkt Harz entwickelt hatten (klebrige Tröpfchen, die Wunden verschließen und Pflanzenfresser abschrecken), möglicherweise als Reaktion auf eine prähistorische
Pflanzenfresserart, die sich von ihnen ernährte. Nadelwald, Polen

Auch eine prähistorische Spinne ist in Bernstein gefangen

▼ Wie Fossilien entstehen Es dauert Millionen von Jahren, bis die Körper lebender Organismen versteinern. Organische Überreste zerfallen und verhärten.

View attachment 7958

Lokalisierung des Lebensraums
Der Ort, an dem ein Fossil heute gefunden wird, kann sich stark von seinem ursprünglichen Lebensraum unterscheiden. Beispielsweise wurde diese in Bernstein begrabene Eidechse an der brackigen Ostseeküste gefunden. Als diese Eidechse vor 54 Millionen Jahren starb, könnte ihr natürlicher Lebensraum ein Wald weiter im Landesinneren gewesen sein. Die Beweise deuten darauf hin, dass ein Fluss Bernsteinklumpen aus dem warmen Nadelwald flussabwärts zur Küste gespült hat.

Anatomie vergleichen

View attachment 7959
Die Struktur des Körpers eines Fossils oder die Spuren, die der Körper hinterlässt, können mit denen verwandter Fossilien und heute lebender Arten verglichen werden. Nur der Kopf, das vordere Ende des Körpers und das rechte Vorderbein dieser Eidechse sind in Bernstein konserviert, doch das reicht aus, damit Paläontologen sie als Geckoart erkennen können. Dieses Exemplar weist gut entwickelte Zehenballen und fehlende Augenlider auf – Merkmale, die in Bernstein erhalten sind, bei einem im Fels konservierten versteinerten Skelett jedoch verloren gehen würden.

View attachment 7960

View attachment 7961
▶ Pangäa Die Kontinente verschmolzen zwischen 300 und 175 MYA über der südlichen Hemisphäre der Erde. Im Landesinneren verwandelten sich Wälder in Wüsten, während die Verkleinerung der Küsten das Aussterben vieler Meeresarten zur Folge hatte.

View attachment 7962

Das Land trocknet aus

View attachment 7963

View attachment 7964

Nachdem das Landleben in den sumpfigen Kohlewäldern blühte, änderte eine weltweite Dürre, die 50 Millionen Jahre andauerte, die Richtung der Entwicklung des Lebens. Als die Vegetation härtere Blätter bekam und die Sümpfe austrockneten, brachten einige feuchthäutige Amphibien die ersten schuppigen Reptilien hervor.

Vor etwa 300 Millionen Jahren kollidierten alle Landmassen der Erde und bildeten einen einzigen Superkontinent namens Pangäa. Dies führte zu einer dramatischen Veränderung des Lebens auf der Erde. Der Klimawandel hatte bereits einen Zusammenbruch der großen Sumpfwälder des Karbons ausgelöst (siehe S. 148–149), doch nun, zu Beginn des Perm-Zeitalters, stand ein Großteil der Landschaft des neuen Superkontinents kurz davor, sich in Wüste zu verwandeln

NEUE HAUT, GRÖSSERE GRÖSSEN
Reptilien hatten sich in den Wäldern entwickelt, breiteten sich nun aber über die neue ausgedörrte Welt aus. Diese neuen Wirbeltiere waren besser an Land angepasst als ihre amphibischen Vorfahren. Durch die Entwicklung harter Schuppen, die aus einem zähen Faserprotein namens Keratin hergestellt wurden, reduzierten sie die Dehydrierung. Später nutzten Säugetiere und Vögel das Keratin für ihre Haare und Federn. Auch die ersten Reptilien, die hartschalige Eier legten (siehe S. 146–147), brauchten zur Fortpflanzung – anders als ihre Amphibien-Vorfahren – kein Wasser. Dies trug dazu bei, die Landbesiedlung durch Wirbeltiere wie nie zuvor voranzutreiben. Zwei große Reptiliengruppen trennten sich zu Beginn ihrer Herrschaft. Eines davon, die Diapsiden, brachte später Dinosaurier, Vögel und moderne Eidechsen hervor. Zur Zeit des Perm war es die zweite Gruppe, die Synapsiden, die das trockene Land beherrschte. Einige entwickelten sich zu den größten Landtieren ihrer Zeit. Der segelgestützte, fleischfressende Mensch Dimetrodon erreichte die Größe eines Autos und andere wurden die ersten großen Pflanzenfresser. Spätere Synapsiden umfassten auch kleine Reptilien-Vorfahren von Säugetieren. Der Perm endete mit Gewalt – einem Massensterben, das so schwerwiegend war, dass mehr als 70 Prozent des Tierlebens ausgelöscht wurden. Aufgrund der außergewöhnlichen vulkanischen Aktivität, die schädliche Gase freisetzte, verschwanden beim größten Artensterben aller Zeiten viele Reptilien. Aber genügend Nachkommen beider Gruppen, der Synapsiden und Diapsiden, überlebten, um das Land neu zu bevölkern – zunächst mit Dinosauriern und Säugetieren, dann mit Vögeln.

> “ VIELE PERM-REPTILIEN BESITZEN FOSSIL EIGENSCHAFTEN, DIE DAS VORAUSSCHATTEN KOPF UND ZÄHNE VON SÄUGETIEREN.
>
> R. Will Burnett, Biologe, 1945–

View attachment 7965

◀ Moschops Mit seinem stämmigen Körper fraß dieser Überlebende der trockenen Welt des Perm die robuste Wüstenvegetation. Es war eines von vielen Synapsiden – Reptilien mit starken Kiefern, aus denen schließlich Säugetiere hervorgingen.

View attachment 7966

GROSSE IDEEN | Der Mensch wird dominant

Das Ende der letzten Eiszeit vor fast 12.000 Jahren markierte den Beginn des Holozäns – unserer heutigen geologischen Epoche. Der Klimawandel war für die Homininenfamilie nichts Neues. Allerdings waren zwei Dinge anders: Es gab nur noch eine einzige menschliche Spezies, und wir hatten bereits damit begonnen, die Lebensräume und Landschaften um uns herum zu verändern.

Das Ende des Pleistozäns brachte auf dem größten Teil des Planeten wärmere und feuchtere Bedingungen. Vielerorts wich Grasland Laubmischwäldern und Wüstengebiete wurden immer feuchter. Im Laufe von Zehntausenden von Jahren hatte die Ausbreitung des Homo sapiens zur Besiedlung der gesamten Strecke von der südafrikanischen Küste über Eurasien nach Australien und bis zur Spitze Südamerikas geführt. Die ungewohnte, oft raue Umgebung, die sie vorfanden, sowie die klimatischen Veränderungen erforderten innovative Überlebensstrategien. Der Mensch nutzte seine Fähigkeit, Probleme zu lösen und Fähigkeiten zu erlernen – einschließlich des Knüpfens neuer Beziehungen zu Flora und Fauna. Diese neuen Beziehungen begannen wiederum die lokalen Umgebungen zu prägen, in denen der Homo sapiens lebte.

AUSWIRKUNG AUF DAS TIERLEBEN

Die frühesten bekannten Beispiele für die Ausbeutung von Meeresressourcen durch Homininen sind das Sammeln von Schalentieren durch den Homo sapiens in Pinnacle Point, Südafrika, vor etwa 160.000 Jahren und durch Neandertaler in der Bajondillo-Höhle, Spanien, vor etwa 150.000 Jahren. Eine solche kleinräumige Aktivität hatte kaum Auswirkungen auf die Schalentierpopulationen, aber als die Ernte im Laufe der Zeit eskalierte, begann sie sich negativ auszuwirken. In Südafrika, Die durchschnittliche Größe einiger Muschelarten nahm vor etwa 50.000 Jahren ab, was darauf hindeutet, dass das Sammeln intensiver geworden ist. Dies kann möglicherweise auf veränderte Siedlungsmuster zurückzuführen sein, bei denen mehr Menschen in Küstengebiete ziehen, oder auf eine Zunahme der dort vorhandenen menschlichen Bevölkerung. Nach der menschlichen Besiedlung von Papua-Neuguinea vor 30.000 Jahren und Südkalifornien vor 10.000 Jahren kam es zu einer ähnlichen Verringerung der Schalentiergröße. Die meisten Tierpopulationen erholten sich zweifellos von dem vorübergehenden lokalen Druck, den der Mensch ausübte, aber unsere Spezies hat möglicherweise eine lange Geschichte mit dauerhafteren, katastrophalen Auswirkungen auf die Artenvielfalt. Die sogenannte megafaunale „Overkill"-Hypothese korreliert einen Rückgang der Vielfalt großer Tierarten mit Anzeichen einer zunehmenden Besiedlung durch den Homo sapiens gegen Ende der letzten Eiszeit. Am offensichtlichsten ist dies in Australien und Nordamerika, wo die Ankunft der Menschen vor 55.000 bzw. 15.000 Jahren erfolgte.

SCHMELZENDES GLETSCHEIS ZU ANFANG DES Holozän-Epoche verursacht WELTMEERESPIEGEL BIS AUFSTIEG 35M (115FT)

▼ Feuerholzzucht Die Praxis, Vegetation zu verbrennen, um Graslandlebensräume zu schaffen, die den Tieren, die Menschen jagen möchten, gerecht werden, wird in Australien möglicherweise schon

seit 50.000 Jahren praktiziert. Es kann die Landschaft und sogar das Klima einer Region radikal verändern.

View attachment 8100

ging mit dem Verschwinden zahlreicher Tierarten einher, darunter auch der spektakulären Riesenfaultiere. Allerdings dürften auch Klimaveränderungen zur gleichen Zeit eine Rolle gespielt haben, und sicherlich war der Homo sapiens schon vor 40.000 Jahren in Europa präsent, ohne dass es eindeutig zu einem damit verbundenen Massenaussterben kam.

sogar darüber hinaus gewagt. Aber noch vor nicht allzu langer Zeit – geologisch gesehen nur ein Wimpernschlag – gab es nur wenige Menschen, sie waren verstreut und lebten von dem, was sie finden oder fangen konnten. Doch schon in diesen frühen Phasen unserer Geschichte haben wir durch unser tägliches Leben Einfluss auf die Welt um uns herum ausgeübt.

wurde so systematisch durchgeführt, dass man es mit Fug und Recht als Steinbruch bezeichnen konnte. Auch wenn dies über einen langen Zeitraum hinweg geschah, veränderten die Abfallberge die lokale Landschaft dramatisch. Vor etwa 40.000 Jahren tauchen subtilere künstlerische Traditionen unter freiem Himmel auf, die manchmal mit einer Transformation einhergehen Es kann sein, dass in besonders schwierigen Umgebungen die Ankunft eines neuen, geschickten Raubtiers, des Homo sapiens, gerade ausreichte, um bestimmte Arten zum Aussterben zu bringen. Einer der stärksten Belege für die Overkill-Hypothese ist das karibische Bodenfaultier, das weniger als 5.000 Jahre nach der Ankunft des Menschen ausstarb; Selbst dann scheint der Prozess jedoch etwa 1.000 Jahre gedauert zu haben.

> “ DIE TATSACHE, DASS HOMO SAPIENS IST HEUTE GIBT ES NUR HOMINIDENARTEN AUF DER ERDE Macht es leicht anzunehmen, dass wir einsam sind EMINENZ IST HISTORISCH EIN NATÜRLICHER STAAT DER ANGELEGENHEITEN – WAS ES EINFACH NICHT IST.
>
> Ian Tattersall, British Paläoanthropologe, 1945 –

While there is no evidence of Homo sapiens having an extinction-scale impact on plant communities at this time, we may have been significantly altering some environments. Charcoal from sediment cores may indicate that people were burning forest in Southeast Asia around 50,000 years ago and also in Australia between 60,000 and 50,000 years ago.
Although natural causes of forest fires cannot be entirely dismissed, "fire-stick farming", where forest is burned to increase ecological productivity and attract animals, is known to have a long history in North America and Australia, and there is evidence that Mesolithic communities may also have developed similar practices in some areas.

KULTURLANDSCHAFTEN Die weltumspannende Zivilisation des Homo sapiens ist heute vom Weltraum aus gut sichtbar; unser Roboter Raumschiffe haben das Sonnensystem erkundet und

Durch anhaltende Aktivität an einem bestimmten Ort beginnen Organismen, ihre Umgebung zu verändern. Bei Homininen lässt sich dies an den Ansammlungen von Schutt in Höhlen erkennen. Tausende Höhlen auf der ganzen Welt zeigen tiefe Sedimente, die aus den Abfällen unzähliger Generationen entstanden sind. Diese unbeabsichtigten Schöpfungen beschränkten sich nicht nur auf Höhlen, sondern ereigneten sich auch dort, wo Menschen ständig an denselben Orten im Freien lebten, und sie liefern Beweise dafür, wie Menschen lebten. Beispielsweise könnten einige Muschelhaufen (Müllhaufen) symbolische Bedeutung gehabt haben. An einigen Stellen enthalten sie menschliche Überreste sowie weggeworfene Muschelschalen. Ein solcher Ort ist die Klasies River Mouth in Südafrika, in einer Region, in der nur sehr wenige Bestattungen gefunden wurden. Hominine interagierten auch auf andere Weise mit kulturellen Ablagerungen, unter anderem durch das Graben von Grabgruben in älteren, von Neandertalern und Homo sapiens hinterlassenen Siedlungsschichten. Sie erkannten oft, dass kulturelle Ablagerungen eine nützliche Ressource darstellten, und es wurde zur gängigen Praxis, alte Steinwerkzeuge zu recyceln, die Jahrhunderte zuvor hergestellt wurden. Die Gesamtauswirkung auf die Landschaft, die sich aus der Verwendung großer Gesteinsmengen für Steinwerkzeuge über Millionen von Jahren ergibt, ist schwer zu berechnen, aber an einigen Standorten ist eine intensive Aktivität zu verzeichnen. **Die Ausbeutung von Feuerstein in Israel vor über 500.000 Jahren, zum Beispiel ganze Täler in symbolische Freiluftareale**, wie die 5.000 Gravuren in Côa, Portugal. Die so große Steinveränderung lässt auf die ältesten megalithischen Bauwerke schließen, die in Göbekli Tepe in der Türkei errichtet wurden. Sie wurden vor etwa 11.000 Jahren von Jägern und Sammlern hergestellt, nur wenige Jahrhunderte nach den Anfängen der frühen Landwirtschaft.

> “ WIR SIND WAHRSCHEINLICH DIE MEISTEN ANPASSUNGSFÄHIGES SÄUGETIER HAT SICH ÜBERHAUPT AUF DER ERDE ENTWICKELT
>
> Rick Potts, amerikanischer Paläoanthropologe, 1953–

Reptilien diversifizieren sich

View attachment 7967Das Kommen und Gehen der Arten bestimmt die Kapitel in der Geschichte des Lebens. Als Folge der Austrocknung des Superkontinents brachte das Zeitalter der Reptilien einige der spektakulärsten Tiere der Erde hervor. Die Vielfalt der Reptilien erreichte ihren Höhepunkt, als riesige Reptilien Himmel, Land und Ozeane eroberten.

Das große Zeitalter der Reptilien erstreckte sich über mehr als 200 Millionen Jahre. Es begann in der ausgedörrten Landschaft von Pangäa (siehe S. 152–53) und endete mit einem Asteroideneinschlag, doch auch nach dem Untergang der Dinosaurier herrschten Reptilien vor, wenn auch in kleinerer Form. Heutzutage machen Eidechsen und Schlangen fast ein Drittel der Landwirbeltierarten aus.

MESOZOISCHE MONSTER

Während des Mesozoikums, einer Zeitspanne, die in Trias, Jura und Kreide unterteilt ist, diversifizierte sich eine Gruppe kleiner, eidechsenähnlicher Reptilien – Diapsiden – mit spektakulären Ergebnissen. Einige Diapsiden kehrten in ihre Meereslebensräume zurück entfernte Vorfahren: Die Ichthyosaurier und Plesiosaurier wie Albertonectes entwickelten aus Gliedmaßen Flossen und wurden zu erfahrenen Schwimmern und Fischjägern. Die berühmtesten Diapsiden haben die Körpergröße auf ein neues Niveau gebracht. Diese Reptilien – die Archosaurier – wurden zu Krokodilen, fliegenden Flugsauriern, Dinosauriern und schließlich zu Vögeln. Sie verfügten über starke Gliedmaßenmuskeln, die es ihnen ermöglichten, aufrecht zu gehen – was den schwerfälligen, bauchschleppenden Gang früherer Reptilien verbesserte.

RIESEN UND MINIATUREN

Dinosaurier, die erfolgreichsten und vielfältigsten Archosaurier ihrer Zeit, entwickelten sich zu einer Vielzahl von Raubtieren, Weidetieren und Aasfressern. Die riesigen, langhalsigen, pflanzenfressenden Sauropoden wie Brachiosaurus wurden etwa so groß Es ist für ein Landtier möglich, es zu bekommen. Als sich Pflanzenfresser zu Riesen entwickelten, entwickelten sich auch ihre Raubtiere zu Riesen. Theropoden, die zweibeinigen Sprinter der Dinosaurierfamilie, waren fast alle Fleischfresser. Die größten von ihnen, wie zum Beispiel Tyrannosaurus, gehörten zu den gefährlichsten Raubtieren, die jemals an Land wandelten. Die Evolution begünstigte auch die Miniaturisierung bei den Dinosauriern: Einer Gruppe winziger Theropoden wuchsen Federn, sie wurden warmblütig und entwickelten sich schließlich zu Vögeln.

MASSENAUSSTERBEN

Die Herrschaft der Riesenreptilien endete mit dem Massensterben in der Kreidezeit – mit ziemlicher Sicherheit verursacht durch einen Asteroiden oder Kometen trifft auf die Erde. Es folgten katastrophale Bedingungen, darunter Waldbrände, saurer Regen und eine globale Trümmerwolke, die das Licht der Sonne blockierte und einen Großteil der Photosynthese des Lebens, die Nahrung liefert, vorübergehend zum Erliegen brachte. Da sie sich nicht schnell genug an die sich schnell ändernden Bedingungen anpassen konnten, starben alle Riesenreptilien – darunter Plesiosaurier, Flugsaurier, Dinosaurier, Mosasaurier und die riesigen Vorfahren der Krokodile – aus. Aber

Eidechsen, Schlangen, Schildkröten und moderne Krokodile überlebten. Mit ihnen überlebten die Nachkommen, die letztendlich die Reptilien in der Weltherrschaft ablösen sollten: Vögel und Säugetiere.

View attachment 7968

View attachment 7969

◀ Diversifizierung Die Dinosaurier bildeten eine von vielen Reptiliengruppen, die Millionen von Jahren lang die Erde beherrschten. Neben ihnen flogen Flugsaurier in den Himmel und Plesiosaurier und Mosasaurier schwammen in den Ozeanen. Außerdem tauchten zum ersten Mal Schildkröten, Eidechsen, Schlangen und Krokodile auf.

View attachment 7970

VÖGEL FLIEGEN IN DIE LUFT

Vögel sind die vielfältigsten fliegenden Wirbeltiere, heute gibt es mehr als 10.000 Arten. Ihr Ursprung liegt bei den Dinosauriern, und Wissenschaftler untersuchen seit 150 Jahren Fossilien, um diesen evolutionären Übergang besser zu verstehen.

Die Geschichte, wie sich Vögel aus Reptilien entwickelten, bietet Biologen ein tieferes Verständnis dafür, wie die Evolution funktioniert. Aus einer Lebensform kann eine andere entstehen, die von Natur aus so unterschiedlich ist, dass es auf den ersten Blick so aussieht, als bestünde zwischen beiden keine Beziehung. Eine genauere Untersuchung der Anatomie, des Fossilienbestands und der molekularen Analyse von Genomen kann zu überraschenden Verbindungen zwischen scheinbar nicht verwandten Arten führen. Oberflächlich betrachtet unterscheiden sich Reptilien und Vögel stark. Moderne Vögel unterscheiden sich deutlich von lebenden Reptilien, obwohl sie Reptilien-Vorfahren hatten – eine Gruppe zweibeiniger, hauptsächlich räuberischer Dinosaurier, sogenannte Theropoden. Theropoden hatten sich jedoch bereits weiterentwickelt und unterschieden sich stark von den Reptilien, die wir heute kennen. Einige waren nicht nur gefiedert, sondern möglicherweise auch warmblütig.

View attachment 7971VORBEREITUNG AUF DEN FLUG

In gewisser Weise wurden Theropoden auf das Fliegen vorbereitet, auch wenn die Gründe dafür nicht sicher sind. Sie gingen aufrecht Hinterbeine, was bedeutete, dass ihre Vorderbeine frei waren, um zu Flügeln zu werden. Einige kleine Arten hatten hohle Knochen, die bereits leicht waren. Bei einigen gleitenden Arten sorgten lange Finger, die breite, gefiederte Hände stützten, für den Auftrieb, um kurze Distanzen über den Boden oder von Ast zu Ast zu segeln. Für einen echten Flügelschlagflug waren jedoch mindestens zwei weitere Modifikationen erforderlich: Schwungfedern, die zu steifen Klingen verarbeitet wurden, und stärkere Muskeln, die für einen anhaltenden Flügelschlag geeignet waren. Im Zuge der Evolution der Vögel entwickelten ihre Brustbeine einen knöchernen Vorsprung, der Kiel genannt wurde und an dem massivere Flugmuskeln befestigt waren. Vögel mit großen Kielen hatten mehr Brustmuskeln, um ihre Flügel anzutreiben. Diese Meister des Fliegens blühten in den Wäldern, Graslandschaften und Feuchtgebieten der Post-Dinosaurier-Welt auf. Sie entwickelten neue und bessere Wege, an Nahrung zu kommen, indem sie Insekten fingen, Samen zerkleinerten oder Nektar leckten. Andere kehrten zu den Fleischfressgewohnheiten ihrer Vorfahren zurück und einige, wie zum Beispiel Strauße, haben das Fliegen ganz aufgegeben und rennen stattdessen über den Boden.

View attachment 7972

Archaeopteryx Diese Art behielt viele Reptilienmerkmale bei, darunter einen langen knöchernen Schwanz, Zähne und Krallen an den gefiederten Flügeln. Ihm fehlte die Muskulatur für einen starken Flug, daher war er möglicherweise stark auf das Gleiten angewiesen.

Confuciusornis Der erste bekannte Vogel hatte einen zahnlosen Schnabel, aber auch einen eher vogelähnlichen Schwanz und einen Kiel am Brustbein. Wie beim Archaeopteryx war sein

Schultergelenk tiefer abgewinkelt als bei modernen Vögeln, was die Tiefe seines „Lappens" einschränkte.

Erithacus Das gekielte Brustbein moderner Vögel, wie zum Beispiel des Rotkehlchens, unterstützt massive Flugmuskeln (bis zu 10 Prozent des Körpergewichts des Vogels) und macht den Flug stärker.

View attachment 7973

View attachment 7975

◀ Prähistorischer Flieger Dieser krähengroße Urvogel, Confuciusornis, lebte während der Kreidezeit zwischen 125 und 120 MYA neben den Dinosauriern. Seine versteinerten Überreste wurden in Hülle und Fülle gefunden, und viele Fossilien bewahren sein Skelett und seine Federn bis ins kleinste Detail.

View attachment 7976

▲ Prähistorische Hände Die Hand- und Handgelenksknochen von Deinonychus, einem theropoden Dinosaurier, und Archaeopteryx, dem frühesten bekannten Vogel, weisen bemerkenswerte Ähnlichkeiten in der Anatomie auf. Allerdings konnte nur Archaeopteryx fliegen.

> “ Der Vogelflug ist am vielfältigsten und erfolgreichsten ALLER FORMEN DES WIRBELTIERTFLUGS.
>
> John Ostrom, Paläontologe, 1925–2005

View attachment 7977

Kontinente verschieben sich und das Leben spaltet sich

Wenn sich Kontinente bewegen, bringen sie Gemeinschaften von Lebewesen mit sich, die sich über Millionen von Jahren entwickelt haben. Landmassen, die sich spalten und kollidieren, trennen Arten und bringen andere zusammen. Während das Land zwischen den Polen und dem Äquator gleitet, wirkt sich das Klima auch auf die Arten aus.

View attachment 7979Landbasiertes Leben reitet auf sich bewegenden Kontinentalplatten, die gedrückt und gezogen werden, wenn die Kruste an manchen Stellen in das Erdinnere eindringt und an anderen neu gebildet wird (siehe S. 92–93). Die Ozeane zwischen der Erdkruste dehnen sich aus und schrumpfen, während Küsten- und Meereslebewesen kommen und gehen. Die sich verändernde Erdoberfläche hilft zu erklären, warum heute gefundene Fossilien an seltsamen Orten landen – beispielsweise bei Meeresbodentieren, die hoch oben im Himalaya vorkommen.

Wiegen des Lebens an Land Relativ früh in der Erdgeschichte, im Kambrium (541–485 MYA), bildeten und spalteten sich riesige Landmassen, wodurch die Ozeane entstanden, in denen sich das Leben diversifizierte. Nachdem Pflanzen und Wirbellose in das Land eingedrungen waren und sich dort diversifiziert hatten, wurden Landmassen zu Zentren der Evolution. Diese Ereignisse liegen so lange zurück, dass in der Verbreitung der heute lebenden Wirbellosen und Pflanzen kaum noch Spuren vorhanden sind. Aber über 300 MYA – als sich einige Amphibien zu Reptilien und einige sporentragende Pflanzen zu Samenpflanzen entwickelten (siehe S. 144–145) – begann die Bewegung der Kontinente nachhaltigere Auswirkungen zu haben.

Das Landleben spaltet sich auseinander Im Karbon (359–299 MYA) kollidierten nördliche und südliche Landmassen und bildeten einen riesigen Superkontinent namens Pangäa (siehe S. 152–53). Es erstreckte sich über den Äquator und umfasste den größten Teil der Landfläche der Erde.

> “ ALLE ERDWISSENSCHAFTEN MÜSSEN BEWEISE BEITRAGEN... ENTDECKUNG DES ZUSTANDES UNSERES PLANETEN IN FRÜHEREN ZEITEN
>
> Alfred Wegener, Geologe und Meteorologe, 1880–1930

▶ Moderner Hinweis Der Afrikanische Strauß ist eine Art flugunfähiger Laufvögel. Weitere Laufvogelarten sind der südamerikanische Nandus und der australische Emu, was Hinweise auf eine gondwanische Verbreitung von Laufvögeln liefert.

View attachment 7978

Die Auswirkungen auf das Klima waren dramatisch – das trockene Landesinnere unterschied sich deutlich von den kalten, polaren Extremen. In Verbindung mit dem Verlust vieler Küstenlebensräume führte dies zum Aussterben vieler Arten, trug jedoch zur Diversifizierung von Pflanzen, Reptilien (siehe S. 154–55) und anderen bei. Im Mesozoikum, 100 Millionen Jahre später, begann sich Pangäa zu spalten. Dadurch entstand eine Meeresbarriere für das Landleben, und Pflanzen und Tiere wurden auf zwei Superkontinenten isoliert; Laurasia im Norden trennte sich von Gondwana im Süden. Das Landleben könnte über fünf Kontinente wandern, die heute weit voneinander entfernt sind. Eine weitere Aufspaltung würde erkennbare Landmassen hervorbringen: Laurasia in Nordamerika und Eurasien und Gondwana in Südamerika, Afrika, Indien, Antarktis und Australien.

Wir wissen jetzt, dass Gondwana von üppigen Regenwäldern bedeckt war, die die Vielfalt förderten. Viele heute lebende Gruppen entwickelten sich zuerst dort – wie zum Beispiel moderne Beuteltiere – und verbreiteten sich in ganz Gondwana, konnten aber Laurasia nicht erreichen. Heutzutage sind Beuteltiere nur noch in Südamerika und Australien zu finden, Fossilien gibt es in der Antarktis. Auch flugunfähige Laufvögel wie der Australische Emu sind in Resten der Gondwana verbreitet. Diejenigen, die sich in Laurasia entwickelten, wie Salamander und Molche, waren auf nördliche Kontinente beschränkt. Die Verbreitung versteinerter Arten ist ein Beweis für die Kontinentalverschiebung (siehe S. 90–91). Sicherlich hatten das Muster und die Bewegung der Kontinente einen tiefgreifenden Einfluss auf die darauffolgende Verbreitung allen Lebens.

View attachment 7980

View attachment 7981

◀ Hinweise auf Gondwana Aus den Fossilfundstellen dieser vier Arten können wir Rückschlüsse darauf ziehen, welche Kontinente vor 150 MYA als Gondwana verbunden waren. Einige dieser Arten kommen auch in Laurasia vor, was darauf hindeutet, dass sie sich vor der Teilung von Pangaea entwickelt haben.

View attachment 7982

DER PLANET BLÜHT

Eine Gruppe von Samenpflanzen ließ den Planeten vor Farbe platzen. Blumen gaben Pflanzen eine effektivere Möglichkeit, ihren Pollen zu verbreiten und ihre Samen zu setzen. Schon vor dem Aussterben der Dinosaurier blühten Wälder und andere Lebensräume – und es wimmelt es von Bestäubern.

Rund 90 Prozent aller bekannten Pflanzenarten sind Blütenpflanzen. Als Bäume, Sträucher und Kletterpflanzen dominieren sie die Regenwälder; Als Gräser bedecken sie offenes Gelände. Blühende Pflanzen gedeihen in den trockensten Wüsten und klammern sich an Felsen auf hohen Bergen und in der arktischen Tundra. Einige, wie zum Beispiel Mangroven, tolerieren sogar Gezeitenüberschwemmungen mit Salzwasser entlang der Küsten. Während einige die tödlichsten Gifte produzieren, liefern andere den Großteil der Nahrung der Menschheit. Alle bieten auf die eine oder andere Weise Lebensraum für Tiere. Diese beeindruckende Vielfalt ist auf einen einzigartig erfolgreichen Fortpflanzungsspross zurückzuführen: die Blume.

DIE ERSTEN BLUMEN

Die ersten Mitglieder der Gruppe der Blütenpflanzen, die Angiospermen, entwickelten sich etwa vor 120 Mio. Jahren. Es wird angenommen, dass Montsechia vidalii, eine Wasserpflanze mit winzigen Blüten, ihren Pollen ähnlich wie ihre Vorfahren im Wasser verteilt hat (siehe S. 144–45). 30 Millionen Jahre später begannen Angiospermen, sich zu diversifizieren und die Blütenstruktur zu entwickeln, die für ihren Erfolg so wichtig ist. Seerosen und Magnolien gehören zu den urtümlichsten Arten und sind seit Millionen von Jahren unverändert geblieben.

POLLEN BEWEGEN

Blumen verbessern die Übertragung von Pollen vom männlichen zum weiblichen Teil. Männliche Blütenteile, sogenannte Staubblätter, spalten sich auf, um ihre reifen Pollenkörner genau zum richtigen Zeitpunkt freizusetzen – wenn Bestäuber aktiv sind und weibliche Blüten empfänglich sind. Die weiblichen Teile, die Fruchtblätter, haben spezielle Vorsprünge, ihre Narben, die die Pollenkörner auffangen. Viele Pflanzen sind auf den Wind angewiesen, um Pollen zu verbreiten, doch schon früh in ihrer Evolution rekrutierten einige Arten tierische Partner, die den Pollen für sie transportierten. Mit der Diversifizierung der Insekten wuchs auch die Vielfalt der Blüten (siehe S. 164–65).

Den Samen ausstreuen

Insekten waren nicht die einzigen Tiere, die sich neben Blumen entwickelten. Früchte, eine weitere Innovation von Blütenpflanzen, umhüllten den Samen und verfärbten sich im Laufe seiner Reifung duftend und farbenfroh.

Dies war perfekt, um Säugetiere mit einem Geruchssinn und Vögel mit einem Auge für Farben anzulocken. Die Samen wiederum wurden resistent gegen ihre Verdauungsprozesse, sodass sie im Kot verteilt und leicht mit einer Dosis Dünger versorgt werden konnten. Als Pflanzen zum ersten Mal Blumen für ihre Fortpflanzung nutzten, begaben sie sich auf einen evolutionären Weg mit weitreichenden Auswirkungen. Dutzende Millionen Jahre später konnten Tiere mit einer Vorliebe für

Zucker, darunter auch Menschen, süßere Nahrungsmittel wie Früchte erbeuten, da mehr Samen verstreut wurden und neue Setzlinge wuchsen.

> “Es ist schwierig, sich eine größere Masse vorzustellen VEGETATION... EINE MASSE VON BLÜTEN... BESONDERS DIE WEISSE ORCHIDEEN ... IHRE STÄMME WEISS WIE SCHNEE.
>
> Joseph Dalton Hooker, Botaniker, 1817–1911, Himalaya-Zeitschriften

View attachment 7983

▶ Farbenpracht Heute schmücken über 250.000 Blütenpflanzenarten unseren Planeten. Manche Arten haben spezielle tierische Bestäuberpartner, ohne die sie sich nicht ausbreiten könnten.

View attachment 7984

View attachment 7985

View attachment 7986

ZEITPLAN | MASSE AUSSTERBEN
Anhaltende vulkanische Aktivität, Vereisung und Klimawandel können zum Verlust von Arten führen. Der Fossilienbestand dokumentiert fünf Fälle, in denen ein solches Massensterben besonders schwerwiegend war.

Seit mehr als 4 Milliarden Jahren herrscht Leben auf der Erde – doch einzelne Arten kommen und gehen. Stabile, langfristige Lebensräume wie Regenwälder oder warme Küstenmeere, die Millionen von Jahren überdauern, stellen Brennpunkte für die Evolution dar, die die Artenvielfalt auf der Welt steigern. Die Erde ist ein veränderlicher Ort und Aussterben kann für manche Lebewesen zu plötzlich eintreten, als dass sie sich anpassen könnten. Diese Ereignisse führen zum Aussterben mehrerer Arten, bieten anderen aber auch neue Erfolgschancen.

View attachment 7987

View attachment 7988

View attachment 7989

PFLANZEN REKRUTIEREN INSEKTEN

View attachment 7990

View attachment 7991

Arten sind Produkte der Evolution, die durch natürliche Selektion von der sie umgebenden Umwelt geformt werden – Arten entwickeln sich jedoch nicht isoliert. Sie interagieren miteinander; Einige geraten aneinander, wenn sie um die gleiche Nahrung konkurrieren, andere kooperieren schließlich.

Damit jede Art in ihrem Lebensraum gedeihen kann, müssen ihre Mitglieder alles Notwendige tun, um sich fortzupflanzen. Arten, die kooperative Beziehungen zueinander pflegen, sind ein interessantes Beispiel dafür, wie sich das Leben an eine sich verändernde Welt anpasst.

Das Leben beeinflusst das Leben Die Beziehung zwischen Blütenpflanzen und bestäubenden Insekten markierte einen wichtigen Meilenstein in der Evolution. Es ist kein Zufall, dass Blütenpflanzen und Insekten die unterschiedlichsten Pflanzen- und Tiergruppen darstellen. Es gibt 250.000 Arten Blühpflanzen – während es bei den Insekten rund eine Million Arten gibt. Jede Gruppe diversifizierte sich gemeinsam, da Pflanzen Insekten mit nahrhaftem Nektar versorgten und Insekten die Dienste der Bestäubung leisteten. Während Blumen Farbe und Duft entwickelten, um Bestäuber anzulocken, entwickelten Insekten Mundwerkzeuge, die es ihnen ermöglichten, die Belohnung herauszuholen. 1964 führten die amerikanischen Biologen Paul Ehrlich und Peter Raven den Begriff „Koevolution" ein, um Fälle der Koadaptation zu erklären. Sie dokumentierten, dass Stammbäume von Schmetterlingen eine gewisse Übereinstimmung mit denen von Blütenpflanzen aufwiesen – was auf eng korrespondierende Evolutionswege hindeutet. Koevolution liegt vor, wenn zwei Arten selektive Einflüsse aufeinander ausüben. Beide entwickeln sich durch natürliche Selektion, aber für jede Art wird die andere Art zu einem Faktor bei der Selektion. Dies kann dazu führen, dass Partnerschaften immer engere Abhängigkeitspfade einschlagen, bis zwei Arten völlig voneinander abhängig werden. Viele Pflanzenarten haben Blüten, die nur von einer einzigen Insektenart erfolgreich bestäubt werden können. Eine madagassische Orchideenart mit einem außergewöhnlich langen „Sporn" (hohle Röhre) wird von einer Schwärmerart bestäubt, deren Rüssel (Zunge) lang genug ist, um hineinzugreifen.

Die Bestäubung von Blüten durch Insekten ist ein wichtiges Beispiel für Gegenseitigkeit – eine Beziehung zwischen zwei Arten, in der beide voneinander profitieren. Auch einseitige Vorteile, etwa wenn Raubtiere oder Weidetiere ihre Beute ausbeuten, können zur Koevolution führen. Die Koevolution gestaltet diese Art von Beziehungen genauso wie wechselseitige Beziehungen.

> “ BESTÄUBER... SIND SCHLÜSSELARTEN. DU WEISST WIE EIN BOGEN HAT EINEN SCHLUSSSTEIN. WENN SIE DEN KEYSTONE ENTFERNEN, Der ganze Bogen stürzt

> ein.
>
> May Berenbaum, Zoologe, 1953–

View attachment 7992

◀ Pollensammler Die Honigbiene ist für ihre nektarliebende Ernährung bekannt und ein wichtiger Pollenverteiler für viele Pflanzenarten.

View attachment 7993

View attachment 7994

ZEITPLAN | DER AUFSTIEG VON SÄUGETIERE

Die ersten Säugetiere entwickelten sich etwa zur gleichen Zeit wie die Dinosaurier. Sie überlebten das Massenaussterben, bei dem Riesenreptilien ausgerottet wurden, und erlangten in ihrem Gefolge den Aufstieg zur Herrschaft über den Planeten.

Säugetiere stammten von einer Gruppe von Reptilien ab, die sich von anderen Reptilien abspalteten, als Pangäa austrocknete (siehe S. 152–53). Etwa 100 Millionen Jahre später, als sich die Dinosaurier zu Riesen entwickelten, entwickelten sich diese Vorfahren zu kleinen, grabenden, möglicherweise warmblütigen „Protosäugetieren", sogenannten Cynodonten, und verbreiteten sich auf der ganzen Welt. In mancher Hinsicht waren sie immer noch Reptilien, da sie immer noch Eier legten – aber die Cynodonten erlebten eine Revolution. Sie entwickelten Fell, um ihren Körper zu isolieren und ihnen zu helfen, auch in der Kühle der Nacht aktiv zu bleiben. Auch pelzige Haut wurde zu Drüsen: Sie sonderte Öl ab, das das Haar wasserfest machte, und Milch, die Säuglinge ernährte. Schließlich begannen einige Säugetiere, lebende Junge zur Welt zu bringen. Mit der Blütezeit der Dinosaurier diversifizierten sich mehrere Säugetiergruppen und starben schließlich aus. Nur drei Gruppen überleben heute: Über 90 Prozent der Säugetiere – uns eingeschlossen – sind Plazentatiere, die so genannt werden, weil sie ihre Jungen durch eine lange Schwangerschaft tragen und von einer Plazenta ernährt werden.

View attachment 7995

> “ DIE GRASLANDSCHAFTEN SIND GRÖSSTLICH UNENTDECKT SCHÄTZE EINES WICHTIGEN NATIONALEN ERBEES

> Francis Moul, Umwelthistoriker, 1940–

View attachment 7996

GRASLAND VORAUS

View attachment 7997Aus ökologischer und ökologischer Sicht ist die Familie der Gräser wahrscheinlich die wichtigste Pflanzengruppe der Erde. Fast drei Viertel der vom Menschen angebauten Nutzpflanzenarten sind Gräser. Bemerkenswerterweise tauchten sie erst vor relativ kurzer Zeit auf – etwa vor 55 MYA.

Obwohl sich Gräser etwa vor 55 Mio. Jahren entwickelten, wurden Grünlandlebensräume erst vor 15–10 Mio. Jahren etabliert. Unter den richtigen Bedingungen wachsen Gräser opportunistisch auf offenen Flächen und verbreiten sich schnell über unterirdische Stängel. Einige, wie zum Beispiel Bambus, wachsen hoch und verholzend, die meisten anderen bleiben jedoch niedrig, bevor sie blühen und ihre Samen setzen. Dies sind die Arten, die die heute bekannten offenen Lebensräume bevölkern und weite Ebenen und Prärien bilden, die von einer einzigen Art dominiert werden. Heute besteht ein Fünftel der Vegetationsdecke der Erde aus Grasland.

Die Weide überleben
Obwohl Gräser schmackhaft aussehen können, verstärken die meisten Arten ihre Blattränder mit Körnern des Minerals Kieselsäure. Einige Arten verfügen über genügend Kieselsäure, um ihre Klingen abrasiv oder sogar scharf genug zu machen, um Haut zu schneiden. Diese Anpassung schreckte Pflanzenfresser ab, doch als Reaktion darauf entwickelten Pflanzenfresser stärkere Kiefer und ein widerstandsfähigeres Verdauungssystem. Gräser entwickelten eine weitere Taktik: Indem sie ihre Halme an der Basis und nicht an der Spitze wachsen ließen, konnten sie in Bodennähe abgegrast werden und sich trotzdem regenerieren. Ihre kriechenden Stängel können sogar regenerative Triebe austreiben, nachdem sie mit schweren Hufen zertrampelt wurden. Dadurch können Gräser in stark beweideten Umgebungen andere Pflanzen übertreffen.

GRAZERS WERDEN GRÖSSER
Als sich das Grasland über die ganze Welt ausbreitete, entwickelte sich wiederum das Leben. Produktives Wachstum könnte größere Pflanzenfresser unterstützen – und große Körper eigneten sich perfekt für die Verdauung von Gras. Große pflanzenfressende Säugetiere entwickelten Verdauungssysteme, die wie Gärbottiche funktionierten und auf Darmmikroben angewiesen waren, die beim Abbau von Pflanzenfasern halfen. Die Graslandprämie hatte ihren Preis: Es gab keinen Schutz vor Raubtieren. Es entwickelten sich leichtfüßige grasende Säugetiere, die sich aus Sicherheitsgründen in Herden versammelten. Heutzutage beherbergen Graslandschaften einige der größten Wildtierkonzentrationen auf der Erde. Vor zwei Millionen Jahren schlossen sich die ersten Menschen der Nahrungskette des Graslandes an. Kein terrestrischer Lebensraum hat die Entwicklung von Säugetieren und Menschen so stark beeinflusst (siehe S. 186–187).

View attachment 7998

◀ Gebaut für Grasland. Grasfresser wie das Pferd fressen niedriges Gras an offenen Stellen. Ihre

großen Beinmuskeln sind an der Oberseite der Beine konzentriert, so dass die schlanken Unterschenkel frei von voluminösen Muskeln bleiben, sodass sie leicht und für eine schnelle Flucht leicht zu manövrieren sind.

GROSSE IDEEN | WIE WIR DAS LEBEN KLASSIFIZIEREN

Das Leben benennen Ein Botaniker namens Carl von Linné (1707–78) – später latinisiert zu Carolus Linnaeus – hatte die Struktur von Blumen untersucht, ihre Teile als Fortpflanzungsorgane identifiziert und ihre Vielfalt katalogisiert. In 1735 veröffentlichte er eine Broschüre mit dem Titel „Systema Naturae" oder „Natürliches System". Zunächst wurde ein hierarchisches Klassifizierungssystem allen bekannten Lebens beschrieben, das durch Ränge definiert wurde. Klassen – wie Reptilien, Vögel und Säugetiere – wurden in Ordnungen – wie Tauben, Eulen und Papageien – und dann in Gattungen (Singular, Gattung) aufgeteilt. Der Gattungsrang definierte die Grundform eines Organismus, beispielsweise Bär, Katze oder Rose. Wie es damals üblich war, wurde der spezifische Typ (entspricht John Rays Art) immer noch durch eine umständliche lateinische Beschreibung bezeichnet. Im Jahr 1753 änderte Linnés „Species Plantarum" dies, indem er Pflanzen durch Ein-Wort-Namen ersetzte, und seine zehnte Ausgabe von Systema Naturae aus dem Jahr 1758 tat dasselbe für Tiere. Beispielsweise erhielt der Braunbär, der 1735 in seine Gattung Ursus aufgenommen wurde, nun den spezifischen Namen Ursus arctos. Die Veröffentlichungen von Linnaeus aus den Jahren 1753 und 1758 markieren den Beginn anerkannter wissenschaftlicher Namen für Pflanzen bzw. Tiere. Dieses Zwei-Namen-System wurde in der Biologie allgemein übernommen: Der erste Name (Ursus) bezeichnet die Gattung und der zweite (Arctos) die Art. Das taxonomische System von Linnaeus wird auch heute noch verwendet – jedoch mit einigen Modifikationen und zusätzlichen Rängen. Während unser Wissen über die Verwandtschaftsbeziehungen zwischen Arten zunimmt, wechseln viele Arten zu anderen Gattungen und ändern dabei ihren aus zwei Wörtern bestehenden wissenschaftlichen Namen.

KLADISTISCHE ANALYSE ZEIGT DASS VÖGEL AM NÄCHSTEN SIND ZU DINOSAURIER

DAS LEBEN ORGANISIEREN Auch im 19. Jahrhundert betrachteten viele die Variationen einzelner Lebensformen noch als unvollkommene Abweichungen von einer Idealform.

Charles Darwins Anerkennung der Bedeutung dieser Variationen für die Evolution führte zu einer Abkehr von dieser aristotelischen Sichtweise. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts war bekannt, dass Arten aus variablen Populationen bestehen, und die genetische Grundlage für diese Variation wurde besser verstanden (siehe S. 108–109). In den 1960er Jahren wandte der deutsche Biologe Willi Hennig (1913–76) strengere Evolutionsregeln zur Klassifizierung des Lebens an. Gruppen auf jedem Rang sollten alle Arten enthalten, die von einem gemeinsamen Vorfahren abstammen. Diese Gruppen wurden Kladen genannt, das Verzweigungsdiagramm, das sie zeigt, wurde Kladogramm genannt, und die neue Methode wurde Kladistik genannt. Seitdem hat sich die Kladistik allgemein als die geeignete Methode zur Klassifizierung des Lebens etabliert – denn diese Methode zeigt deutlich, in welchem Ausmaß ein Tier mit einem anderen verwandt ist. Die Klassifizierung spiegelt nun evolutionäre Beziehungen wider, und taxonomische Gruppen wurden auf der Grundlage der Abstammung von gemeinsamen Vorfahren neu definiert. Zu wissen, wie eng verwandte Arten miteinander verwandt sind, ist nützlicher, als zu wissen, dass sie einfach nur ähnlich sind. Wenn wir

wissen, dass eine Pflanze ein lebensrettendes Medikament produziert und wir auch wissen, welche anderen Pflanzen eng damit verwandt sind, können wir unsere Suche nach neuen Quellen für dieses Medikament konzentrieren. Die Kladistik veränderte die Sichtweise von Taxonomen auf linnäische Gruppen. Während Taxonomen einst Säugetiere und Vögel als Gruppen (Klassen) von gleichem Rang wie Reptilien verstanden, haben kladistische Gruppierungen diese Vorstellung überarbeitet. Wir wissen heute, dass sich Säugetiere und Vögel aus Reptilien entwickelt haben, Reptilien aus Amphibien und so weiter. Daher klassifiziert die Kladistik Säugetiere und Vögel als zwei unterschiedliche Gruppen innerhalb einer größeren Gruppe, zu der auch Reptilien gehören, da sie alle einen einzigen gemeinsamen Vorfahren haben. Heutzutage verfügen Taxonomen über ein besseres Werkzeug als die Anatomie, um evolutionäre Zusammenhänge aufzudecken. Seit sie erkannt haben, dass vererbte Gene gespeichert werden, nutzen Biologen die DNA als Informationsquelle im Inneren. DNA enthält einen Code – eine Abfolge chemischer Komponenten entlang ihrer Kette. Eng verwandte Arten haben ähnliche Sequenzen. Moderne Analysetechniken können in Verbindung mit leistungsstarken Computerprogrammen die DNA mehrerer Arten vergleichen und so die statistische Wahrscheinlichkeit einer Verwandtschaft zwischen Arten ermitteln. Biologen können sogar DNA-Informationen verwenden, um zu berechnen, wann zwei Organismen voneinander abweichen (siehe S. 170–71). Anschließend können sie Cladogramme mit Zeitschätzungen erstellen, die auf jeden Verzweigungspunkt angewendet werden. Diese „Zeitbäume" des Lebens können verwendet werden, um den evolutionären Fortschritt über Millionen oder Milliarden von Jahren abzubilden. Das bedeutet, dass taxonomische Gruppen nicht nur durch ihre Abstammung definiert werden, sondern auch durch ihre geschätzten Entstehungs- und Divergenzzeiten.

GROSSE IDEEN | WIE WIR DAS LEBEN KLASSIFIZIEREN

Die Klassifizierung von Lebewesen umfasst mehr als nur die Entschlüsselung der Ordnung der natürlichen Welt. Moderne Biologen klassifizieren Arten auf der Grundlage ihrer Abstammungsbeziehungen, und ihre Methoden dafür wurden im Laufe von 200 Jahren der Erforschung so unterschiedlicher Disziplinen wie Anatomie, Paläontologie und Genetik verfeinert.

▶ Sammlung von Exemplaren Neue Arten werden aus konservierten Exemplaren – sogenannten „Typusexemplaren" – beschrieben, die als wissenschaftliche Sammlungen in Museen aufbewahrt werden.

View attachment 8004

> “ DARWIN... HAT DORT GEZEIGT, WARUM SIND NATÜRLICHE GRUPPEN UND WARUM SIE TEILEN SIE „WESENTLICHE" CHARAKTERE.
>
> Ernst Mayr, 1904–2005 Biologe

> PFLANZENGRUPPEN ZEIGEN BEZIEHUNGEN AUF ALLEN SEITEN... WIE DIE LÄNDER AUF EINER KARTE
>
> Carolus Linnaeus, Botaniker, 1707–1778

Harte Beweise | EISKERN

View attachment 8006Eisbohrkerne liefern eine Fülle von Hinweisen, die auf ein starkes und größtenteils natürliches Hin und Her der klimatischen Bedingungen hinweisen. Ähnlich wie in Bernstein gefangene Tiere können in Eiskernen winzige Relikte aus der Vergangenheit der Erde aufbewahrt werden.

Atmosphärische Gase
Jede Schneeschicht, die auf den grönländischen Eisschild fiel, enthält Gas aus der Atmosphäre, das beim Verdichten des Schnees zu Eis eingeschlossen wurde. Klimatologen, die den Gasgehalt in Eiskernen aus unterschiedlichen Tiefen vergleichen, können eine Zeitleiste der klimatischen Vergangenheit der Erde erstellen. Der Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre blieb im letzten Jahrtausend stabil, bis er Anfang des 19. Jahrhunderts zu steigen begann. Mittlerweile ist sie 40 Prozent höher als vor der industriellen Revolution (siehe S. 304–305).

Die Eisschilde der Erde sind riesige Schatzkammern von Beweisen vergangener Klimazonen. Bei diesen drei Eiskernen, die jeweils einen Meter lang sind, handelt es sich um Proben eines langen Kerns, der aus dem mehr als 2.000 Meter dicken grönländischen Eisschild gebohrt wurde. Als sich die Eisdecke aus fallendem Schnee bildete, fing sie atmosphärisches Gas und Schwebeteilchen ein, die als Aufzeichnung der damaligen Bedingungen in das Eis eingearbeitet wurden. Das Eis baut sich von Jahr zu Jahr auf, und wenn Wissenschaftler genauer hinschauen, stoßen sie auf immer ältere Aufzeichnungen. Dieser besondere Bohrkern dokumentiert 111.000 Jahre Klimageschichte. Klimatologen analysieren Eisbohrkerne, um Hinweise auf das vergangene Klima der Erde zu finden. Wenn im Eis eingeschlossener Staub radioaktive Elemente enthält, kann die Probe mithilfe einer radiometrischen Datierung (siehe S. 88–89) datiert werden. Eiskerne können Aufschluss darüber geben, wie die Durchschnittstemperatur in der Vergangenheit war, und können Aufschluss über die Anteile von Gasen geben in der Atmosphäre. Dies liefert einen langfristigen Kontext für den in den letzten Jahrzehnten beobachteten Anstieg des Kohlendioxidgehalts (CO_2). Forschungsstationen in den Polarregionen der Erde, wie zum Beispiel Wostok in der Antarktis, haben Aufzeichnungen über den CO_2-Gehalt beigetragen, die mehr als 400.000 Jahre zurückreichen. Bei Dome C in der Antarktis haben Bohrer einen noch längeren Eiskern entnommen. Auf einer Länge von 3.270 m (10.738 Fuß) speichert es Daten wie Methan- und CO_2-Werte aus den letzten 650.000 Jahren. Eisbohrkerne können auch Vulkanasche, Staub, Sand und sogar Pollen einfangen. Diese Hinweise können Aufschluss über vulkanische Aktivität, die Ausdehnung von Wüsten und die Ausbreitung verschiedener Vegetationstypen in der Vergangenheit geben. Zu den Treibern des natürlichen Klimawandels gehören zyklische Veränderungen der Erdumlaufbahn und Veränderungen ihrer Rotationsachse, die als Milankovitch-Zyklen bekannt sind. Weitere natürliche Faktoren sind Veränderungen in der Sonne selbst, Plattentektonik und Vulkanismus. Wissenschaftler untersuchen Eisbohrkerne, um mehr über diese natürlichen Auswirkungen auf das Klima zu erfahren und vorherzusagen, wie sie mit den aktuellen menschlichen Aktivitäten interagieren könnten, die offenbar zu einem raschen Klimawandel führen (siehe S. 352–53).

View attachment 8005

Die Form der Erdumlaufbahn ändert sich unter dem Einfluss der Schwerkraft von Jupiter und Saturn von kreisförmig zu elliptisch (eher „exzentrisch"). Dies verändert die Länge unserer Jahreszeiten und verändert unsere klimatischen Muster.

Der Winkel der Erdachse variiert um einige Grad. Bei einer größeren Neigung neigt sich die Nord- bzw. Südhalbkugel weiter zur Sonne, was zu extremeren Kontrasten in unseren Jahreszeiten führt.

Die Erde wackelt, weil sie keine perfekte Kugel ist – dies führt dazu, dass ihre Achse über etwa 26.000 Jahre imaginäre Kreise zeichnet. Dies verändert den Zeitpunkt von Mittsommer, Mittwinter und der Sonnenwende.

Gewinnung von Eiskernen
Eiskerne – lange Eissäulen – werden seit den 1950er Jahren größtenteils aus den Eisschilden Grönlands und der Antarktis gewonnen. Ein großes Team von Wissenschaftlern ist erforderlich, um in eine Eisdecke zu bohren und einen brauchbaren Eiskern zu entnehmen. Anschließend werden die Kerne bei Temperaturen unter -15 °C (5 °F) gelagert, um sie zu konservieren und Risse zu vermeiden.

View attachment 8007
Wissenschaftler bohren ins antarktische Eis

View attachment 8008

View attachment 8009

Die Erde friert ein

View attachment 8011Der Klimawandel ist seit der Entstehung des Planeten ein natürlicher Teil der Erdgeschichte. Am kältesten Tag, auf dem Höhepunkt der vielen Eiszeiten der Erde, ächzte die Welt unter riesigen Eisschichten, die massive Auswirkungen auf das Leben hatten – sie führten zum Aussterben einiger Arten und prägten die Entwicklung anderer.

▶ Eiszeit In unserer jüngsten Eiszeit erreichten die Gletscher ihre maximale Ausdehnung vor etwa 20.000–15.000 Jahren. Ein Großteil des Wassers auf der Erde war im Eis eingeschlossen, sodass der Meeresspiegel niedriger und das allgemeine Klima trockener war.

Eiszeiten treten auf, wenn die Temperatur der Erdoberfläche sinkt und ausgedehnte Eisschichten zu wachsen beginnen. Es ist wahrscheinlich, dass keine einzelne Ursache dafür verantwortlich ist: Verschiebungen in der Erdumlaufbahn oder atmosphärische Veränderungen spielen beide eine Rolle. Doch die Auswirkungen können weit über das Klima hinausgehen. Gefrierende Temperaturen sperren das Meerwasser in dauerhafte Blöcke – Eisschilde und Gletscher –, senken den Meeresspiegel und verschmelzen einst getrennte Gebiete. An ein tropisches Klima angepasste Populationen können zum Äquator hin schrumpfen oder sogar ganz verschwinden, während kälteadaptierte Arten vordringen.

View attachment 8010▶ Höherer Meeresspiegel Weder der Nord- noch der Südpol hatten vor 40 MYA Eiskappen. Das Fehlen von Polareis führte zu einer größeren Menge an Meereswasser – was zu einem Anstieg des Meeresspiegels und Überschwemmungen von Küsten- und Tieflandgebieten führte.

EISZEIT-EREIGNISSE

Mindestens zwei große Eiszeiten ereigneten sich vor der kambrischen Explosion des Lebens im Jahr 520 MYA. In jedem Fall verwandelte sich unser Planet in einen „Schneeball", der fast vollständig mit Eis bedeckt war. Eine weitere Eiszeit fand zwischen 460 und 420 MYA statt, als Fische die Ozeane füllten. Ein vierter kam, als die ersten Wälder wuchsen, vor 360–260 Mio. Jahren, als der Kontinent Gondwana über den Südpol driftete und sich eine polare Eiskappe auszubreiten begann. Die letzte Eiszeit, die vor etwas mehr als 2,5 Millionen Jahren begann, ist besser bekannt und dauert an. Während dieser Eiszeit haben die Eisschilde, die sich derzeit über Grönland im Norden und der Antarktis im Süden befinden, während der Eis- und Zwischeneiszeit zu- und abgenommen. Da die Eisschilde noch nicht verschwunden sind, befindet sich die Erde immer noch in dieser Eiszeit, wenn auch in einer relativ warmen Zwischeneiszeit. Die Gletscher der jüngeren Vergangenheit haben ihre Spuren in erodierten Tälern und Gletscherablagerungen hinterlassen, während veränderte Temperaturen und Meeresspiegel das moderne Leben zu einem Produkt der Eiszeit gemacht haben.

View attachment 8012

View attachment 8013

▲ Eiszeit-Elefant Der Ursprung des Wollmammuts liegt bei der Elefantenfamilie in Afrika vor etwa 5 Millionen Jahren. Elefanten breiteten sich nordwärts rund um die Erde aus und entwickelten ein struppiges Fell, das sie während der fortschreitenden Eiszeit warm hielt.

▶ Zwischeneiszeit Das Vorhandensein von Eiskappen in der Arktis und Antarktis weist darauf hin, dass wir uns immer noch in einer Eiszeit befinden. Die meisten der ausgedehnten Graslandschaften, die die Eisschilde umgaben, sind zurückgegangen und durch feuchtere Nadelwälder ersetzt worden.

DIE PRIMATENFAMILIE

View attachment 8019

Mit unserem großen Gehirn, geschickten Fingern und hochkomplexen sozialen Strukturen mag es offensichtlich erscheinen, dass wir Primaten sind. Allerdings ist die Primatenordnung vielfältig, und obwohl viele Arten bestimmte Merkmale gemeinsam haben, gibt es kein einheitliches, definierendes physikalisches Merkmal.

Heute wurden etwa 400 Primatenarten identifiziert, vom winzigen Koboldmaki bis zum imposanten Gorilla. Physisch und genetisch stammt der Homo sapiens eindeutig von dieser Ordnung ab – insbesondere von der Linie der Affen –, doch selbst die Affen sind nur ein neuer Zweig des Stammes. Es dauerte 20 Millionen Jahre, bis sich der kleine rattenähnliche Urprimat Purgatorius (65 MYA) zum lemurähnlichen Primaten Darwinius entwickelte. Zu diesem Zeitpunkt hatten sich zwei große Primatenlinien entwickelt – eine, die zu Loris und Lemuren führte, und eine andere, die zu Kobolden führte. Um 40 MYA erschien die Menschenaffenlinie, die zu Affen, Affen und schließlich Menschen führte. Diese Anthropoiden sind wahrscheinlich in Asien entstanden, und ihre Fossilien zeigen, dass das Primatengesicht – das eine Schnauze hatte – bereits kürzer wurde.

BEINAHE MENSCHLICH

Bis zum Jahr 25 MYA waren die Wälder mit einer vielfältigen Vielfalt an Affen bevölkert. Der schwanzlose Prokonsul, der zwischen 25 und 23 MYA in Ostafrika lebte, hatte eine Mischung aus Affen- und Affenmerkmalen und bald sogar viele Arten echter Menschenaffen breiteten sich nach Europa und Asien aus. Dies waren die ersten modernen Primatenarten. Die DNA deutet darauf hin, dass die Spaltungen, die zu Orang-Utans und Gorillas führten, um etwa 16 MYA bzw. 9 MYA stattfanden und beide zeitgenössische Verwandte hatten, wie Sivapithecus in Asien und Chororapithecus in Äthiopien. Ab etwa 9 MYA entwickelte sich eine Gruppe riesiger asiatischer Affen namens Gigantopithecus, von denen einige möglicherweise bis vor kurzem existierten. Eine der frühesten afrikanischen Arten, von denen angenommen wird, dass sie zur Homininenlinie geführt haben, war Sahelanthropus tchadensis (7–6 MYA), die etwa zur gleichen Zeit lebte, als sich unsere Vorfahren schätzungsweise von den Schimpansen trennten. In Bezug auf ihr Verhalten verfügten frühe Affen wahrscheinlich über das gleiche hohe Maß an Geschicklichkeit, Intelligenz und Flexibilität wie moderne Primaten und lebten wahrscheinlich in ähnlich vielfältigen Gemeinschaften mit starken Bindungen und komplexer Kommunikation. Es ist auch wahrscheinlich, dass einige dieser Arten Werkzeuge benutzten, so wie es heute verschiedene Menschenaffen und Kapuzineraffen tun.

View attachment 8020

◀ Unsere nächsten Verwandten In evolutionärer Hinsicht ist unser nächster Verwandter der Schimpanse, mit dem wir vor etwa 7–6 MYA einen gemeinsamen Vorfahren hatten. Der gemeinsame Vorfahre aller Primaten lebte etwa 65 MYA.

ZEITPLAN | HOMININE ENTWICKELN SICH ENTWICKLUNG

Der Mensch gehört zum homininen Zweig der Primatenfamilie. Es handelt sich um einen Zweig, dessen Entwicklung über 7 Millionen Jahre gedauert hat und der alle modernen Menschen, ausgestorbene menschliche Spezies und alle unsere jüngsten Vorfahren umfasst.

Wenn wir unseren Wurzeln nachgehen, ist es verlockend zu glauben, dass unsere „fortgeschrittenen" Eigenschaften, wie die Fähigkeit, auf zwei Beinen zu gehen und Werkzeuge zu benutzen, das Ergebnis der immer komplexeren Entwicklung eines einzelnen Lebewesens sind. Die Wahrheit ist jedoch, dass die frühen Homininen vielfältig waren und dass diese Merkmale in verschiedenen Kombinationen von Homo habilis, der frühesten Homo-Art, und Australopithecus, einer früheren Homininen-Gattung, geteilt wurden und sich wahrscheinlich unabhängig voneinander entwickelten. Der Fossilienbestand ist verlockend. Es zeigt sich, dass schlanke Australopithecinen (A. afarensis und A. anamensis) zwischen 4 und 3 MYA auftauchten und sich später in robustere Formen mit robusten Zähnen diversifizierten. Der früheste Homo habilis stammt jedoch aus dem Jahr 2,4 MYA, was eine erhebliche Lücke zwischen den Arten hinterlässt. Eine mögliche Brücke wurde 2015 in Äthiopien gefunden – ein fossiler Kieferknochen aus der Zeit zwischen 2,8 und 2,75 MYA. Das Fossil passt in die entscheidende Zeit und weist einige charakteristische Homo-Merkmale auf, aber ohne den Rest des Schädels oder Hinweise auf die Größe des Gehirns ist es unmöglich zu bestimmen, zu welcher Familie sein Besitzer gehörte. Aus evolutionärer Sicht war ein Schlüsselmerkmal der Homo-Linie ihre Fähigkeit, sich durch eine Änderung ihrer Ernährung an unterschiedliche Umgebungen anzupassen. Die Tendenz, mehr Fleisch zu essen, war entscheidend: Dies führte zu einer stärkeren Abhängigkeit von Jagdwerkzeugen, was wiederum die größeren Gehirne begünstigte, die sich nach 2 MYA entwickelten (siehe S. 188–89). Dies führte zu Veränderungen in der sozialen Organisation und den Verbreitungsmustern, die in der Entwicklung des Homo erectus, wahrscheinlich des ersten globalen Entdeckers, gipfelten; Homo neanderthalis, unser nächster Hominin-Verwandter; und schließlich Homo sapiens.

▶ Der Stammbaum der Homininen Bisher wurden sieben Homininengruppen identifiziert, die jeweils als Gattung bezeichnet werden und von denen einige mehrere Arten umfassen. Die Gattung Ardipithecus beispielsweise umfasst zwei Arten, Ardipithecus kadabba und Ardipithecus ramidus.

View attachment 8021

View attachment 8022

▲ Australopithecus africanus Eine von sieben bekannten Australopithecus-Arten, A. africanus, war der erste frühe Hominin, der in Afrika entdeckt wurde. Es stammt aus der Zeit um 3–2 MYA und hatte ein kleines Gehirn, konnte aber aufrecht gehen.

View attachment 8023

▶ Homo erectus Die Überreste von H. erectus, oder „aufrechter Mann", wurden in Afrika, China und Indonesien gefunden. Es entstand vor knapp 2 MYA und war möglicherweise erst 50.000 Jahre alt..

View attachment 8024

◀ Homo neanderthalensis Diese Art lebte in Europa, bis sie nach und nach durch eine neue Welle von Homininen aus Afrika – Homo sapiens – ersetzt wurde. Vor etwa 28.000 Jahren starb es endgültig aus.

> “ DIE GRENZE ZWISCHEN NICHT-MENSCHLICHEN UND DER MENSCH IST NICHT DER SCHARFE ADAMIC ENTSTEHUNG, DIE LANGE BEVORZUGT IST
>
> Jean-Jacques Hublin, Paläoanthropologe, 1953–

View attachment 8025

Affen beginnen aufrecht zu gehen

Der Weg vom baumkletternden Affen zum bodenwandelnden Menschen brachte große anatomische Veränderungen im gesamten Skelett mit sich. Alte Fußabdrücke zeigen, dass unsere Vorfahren bereits vor 3,7 Mio. Jahren wie Menschen gingen, aber weitere 2 Millionen Jahre der Verfeinerung waren nötig, um uns zu Läufern zu machen.

Kältere, trockenere Klimazonen ab 35 MYA führten zu einem Wandel von Wäldern zu vielfältigeren Lebensräumen, einschließlich offenem Grasland. Dies gilt seit langem als die treibende Kraft dafür, dass sich einige baumkletternde Affen im Jahr 7–4 MYA in „zweibeinige" Tiere verwandelten, die hauptsächlich auf zwei Beinen auf dem Boden liefen. Die Realität ist komplexer, da einige der ältesten Zweibeinfossilien aus dicht bewaldeten Gegenden stammen. Was auch immer die Gründe sein mögen, eine Reihe von Fossilien bietet Einblicke in den Übergang zur Bodenbesiedlung.

ANPASSUNG AN DEN BODEN

Ein gutes Modell für den Ausgangspunkt der Veränderung ist Proconsul, ein Tier nahe der Basis des Affenstammbaums. Es bewegte sich fort, indem es entweder an Ästen entlanglief oder kletterte und dabei mit Händen und Füßen Äste ergriff. Einige Fossilien ab 7 MYA zeigen einen deutlichen Kontrast. Dies sind die Homininen (siehe S. 184–85), die Gruppe, zu der der Mensch gehört. Der älteste, Sahelanthropus, weist bereits Hinweise auf eine aufrechte Wirbelsäule auf, da der Eintrittspunkt des Rückenmarks in den Schädel an seiner Unterseite und nicht am Rücken liegt, wie bei heutigen Affen. Bald darauf entwickelte sich ein weiterer Hominin mit ausgeprägteren bodenlebenden Merkmalen. Das war Ardipithecus ramidus, der darin lebte das heutige Äthiopien 4,5–4,3 MYA. Er konnte fast aufrecht gehen, war aber nicht vollständig zweibeinig, da seine Füße gegensätzliche Zehen hatten. Um vollständig zweibeinig zu werden, brauchten Homininen Füße, die dem Gehen auf dem Boden gewidmet waren und bei denen die großen Zehen in einer Reihe standen und Knochen und Sehnen einen federnden Bogen bildeten. Fußabdrücke in Afrika, die möglicherweise vom Homo ergaster hinterlassen wurden, deuten darauf hin, dass sich diese Merkmale 1,5–2 Millionen Jahre nach den berühmten Laetoli-Drucken entwickelt haben (siehe unten). Nun waren H. ergaster und andere Homo-Arten zu fähigen Läufern geworden. Sie hatten ein kurzes, breites Becken, das den Rumpf über den Hüften zentrierte, eine S-förmige Wirbelsäule, um vertikale Stöße abzufedern, und nach innen zu den Knien geneigte Oberschenkelknochen, die das Gleichgewicht und den Gang verbesserten. Im Jahr 1 MYA durchstreiften Homininen den größten Teil Afrikas, Asiens und Europas.

View attachment 8026▶ Antike Fußspuren Ein Erwachsener und ein Kind, Australopithecus afarensis, haben diese Fossilienabdrücke vor 3,7 Millionen Jahren im heutigen Laetoli, Tansania, angefertigt. Die dreidimensionalen Konturen der Abdrücke lassen im Vergleich zu denen moderner Menschen darauf schließen, dass sie einen menschenähnlichen Gang hatten und nicht den schaukelnden Gang mit gebeugten Knien wie Affen.

▶ Von den Bäumen herunter Der Übergang zum zweibeinigen Gehen auf dem Boden lässt sich in diesen drei Schlüsselphasen zusammenfassen

Proconsul war einer der frühesten Affen, die in Afrika gefunden wurden. Er lebte vor 23 Millionen Jahren in dichten tropischen Wäldern, bewegte sich auf vier Beinen fort und war ein guter Kletterer. Doch das Fehlen eines Schwanzes zeigte, dass das Leben in Bäumen an Bedeutung verlor.

View attachment 8027

View attachment 8028

▶ Ein kühlerer, weniger vorhersehbarer Planet Die Analyse von Kernproben von Eisschilden (siehe S. 174–75) und Tiefseesedimenten hat gezeigt, dass sich das Klima der Erde in den letzten 6 Millionen Jahren nicht nur abgekühlt, sondern auch variabler geworden ist . Die Entstehung neuer Hominin-Arten scheint mit der zunehmenden Variabilität zusammenzufallen, was darauf hindeutet, dass sie sich aufgrund des Drucks von Umweltveränderungen diversifizierten. Die Anpassungsfähigkeit des Hominin-Skeletts hat es den Individuen möglicherweise ermöglicht, in einer Vielzahl von Lebensräumen zu leben, ob offen oder bewaldet, nass oder trocken.

DER ARCHAISCHE HOMININ SAHELANTHROPUS MAI Bin aufrecht gegangen VOR 7 MILLIONEN JAHREN

View attachment 8029

View attachment 8030

View attachment 8031

View attachment 8032

Harte Beweise | Kebara Neandertaler

1983 wurde in der Kebara-Höhle auf dem Berg Karmel in Israel ein gut erhaltenes Skelett eines erwachsenen Neandertalers freigelegt. Solche physischen Überreste, ob versteinert oder nicht, sind Schatzkammern an Informationen über unsere Hominin-Verwandten

In Kebara wurden Überreste von bis zu 17 Individuen gefunden. Darunter befand sich auch ein Säugling, bekannt als KMH1 oder Kebara 1, der in der Nähe einer Wand entdeckt wurde, möglicherweise in einem Müllhaufen. Der Erwachsene namens KMH2 oder Kebara 2 lag auf dem Rücken in einer Grube, mit einem Arm über der Brust und dem anderen über dem Bauch. Knochenwachstum, Zahnabnutzung und die Form des Beckens zeigten, dass es sich um einen Mann im Alter von 25–35 Jahren handelte. Er trug den Spitznamen „Moshe" und war etwa 1,7 m groß – etwas größer als der durchschnittliche Neandertaler. Obwohl der Schädel und die meisten Beine fehlten, lieferte das Skelett die ersten vollständigen Rippen- und Wirbelsätze des Neandertalers, das erste vollständige Becken und das einzige Zungenbein des Neandertalers, das beim modernen Menschen das Sprechen ermöglicht. Einen Hinweis auf die Ernährung liefert die chemische Analyse des Verhältnisses von Kohlenstoff zu Stickstoff in den Knochen. Neandertaler-Knochen haben einen höheren Kohlenstoffanteil, was darauf hindeutet, dass sie viel Fleisch gegessen haben (hohe Stickstoffwerte weisen auf eine pflanzenfressendere Ernährung hin). Dies wird durch die vielen Gazellen- und Hirschknochen in Kebara untermauert, die Schnittspuren vom Schlachten und Spuren von Verbrennungen aufweisen.

Jüngste Untersuchungen an Neandertaler-Zähnen liefern andere Informationen als die Knochenanalyse und zeigen, dass Pflanzen möglicherweise häufiger konsumiert wurden, als Wissenschaftler einst dachten. Pflanzenreste in der Kebara-Höhle, darunter verkohlte Erbsen in Feuerstellen, deuten darauf hin, dass diese Neandertaler eine Reihe wilder Hülsenfrüchte, Gräser, Samen, Früchte und Nüsse verzehrten. Wir können jedoch nicht sicher sein, in welchen Mengen. Während Moshes Knochen keine Anzeichen einer Verletzung aufweisen, hatten viele Neandertaler Brüche geheilt, die möglicherweise bei der Jagd auf große Tiere aus nächster Nähe entstanden waren. Anzeichen von Krankheit und Verletzung sind nicht nur ein Hinweis auf den Gesundheitszustand, sondern können manchmal auch auf ein gewisses Maß an Fürsorge zwischen den Gruppenmitgliedern hinweisen. Shanidar 1, ein männlicher Neandertaler aus der Shanidar-Höhle im Irak, hatte einen Schlag auf den Schädel erhalten, der ihn wahrscheinlich blind machte und möglicherweise Hirnschäden verursachte; Er hatte auch einen verkümmerten Arm und hatte seinen anderen Unterarm vollständig verloren. Er hätte sein geschätztes Alter von 40–45 Jahren nur mit der Hilfe anderer in seiner Gemeinde erreichen können.

View attachment 8044Grabstätte
Moshes Körper lag im Hauptwohnbereich der Höhle, wo es die größte Konzentration an Herden und Tierknochen gab. Es wurde in einem flachen Grab gefunden, das in die dicken schwarzen Herdablagerungen geschnitten war. Das Grab enthielt einen gelben Bodensatz, der sich von der

umgebenden Herdschicht unterschied. Dies ist ein Beweis dafür, dass die Grube zugeschüttet wurde, nachdem der Körper hineingelegt wurde. Kebara-Höhle, wo Moshe gefunden wurde

View attachment 8045

View attachment 8046

View attachment 8047

View attachment 8048

Harte Beweise | ALTE DNA

Im letzten Jahrzehnt haben Fortschritte bei der Analyse alter DNA – dem in Zellen vorkommenden genetischen Material – unser Verständnis der menschlichen Evolution revolutioniert und zu einigen überraschenden Entdeckungen geführt.

DNA (Desoxyribonukleinsäure) ist ein sehr langes Molekül, das aus kleinen Einzeleinheiten besteht. DNA kommt in den Zellen aller Lebewesen vor. Die Reihenfolge der kleinen Einheiten ist wie eine Reihe codierter Anweisungen, Gene, die die Eigenschaften eines Individuums bestimmen. Die älteste bisher erhaltene DNA stammt von 400.000 Jahre alten Neandertalern in Sima de Los Huesos, Spanien, und lässt darauf schließen, dass sich der Homo sapiens vor 760.000 bis 550.000 Jahren von anderen alten Homininen abgespalten hat. Diese und andere Proben zeigen, dass Eurasien schon immer ein Schmelztiegel war und dass es weltweit mehr Interaktionen und Fortpflanzungen zwischen antiken Gruppen und mit dem Homo sapiens gab, als wir aufgrund von Beweisen aus Fossilien und Archäologie bisher vermutet hatten. Ein 40.000 Jahre alter Mensch aus Oase, Rumänien, ist möglicherweise nur vier Generationen von einem Neandertaler-Vorfahren entfernt. Andere Zweige unserer Familie waren genetisch bedingt „Sackgassen": Ein Individuum aus Ust'-Ishim, Sibirien, datiert auf die Zeit vor 45.000 Jahren, hatte Neandertaler-Vorfahren, trug aber genetisch nicht zu späteren Homo sapiens-Populationen bei. Ebenso gab es in Europa zwischen den frühesten Kolonisatoren des Homo sapiens und der Neuzeit mindestens vier große Bevölkerungsaustausche. Wir haben gerade erst begonnen, die Details dieser alten DNA zu entschlüsseln und zu verstehen, wie genetische Unterschiede zwischen Arten ihren – und unseren – Erfolg beeinflusst haben. Mit der Weiterentwicklung der Techniken und der Entschlüsselung früher DNA, insbesondere aus afrikanischen und asiatischen Überresten, können wir damit rechnen, weitere Geheimnisse über unsere Herkunft, Wanderungen und einzigartige genetische Anpassungen zu lüften und auch weitere Verbindungen zwischen verschiedenen Zweigen des Homininenbaums aufzudecken.

View attachment 8049Mitochondriale DNA

Wir erben mitochondriale DNA (mtDNA) von unseren Müttern. Diese Art von DNA findet sich nicht im Zellkern, sondern in anderen Zellstrukturen, den sogenannten Mitochondrien. Da mtDNA nur die mütterliche Abstammungslinie zurückverfolgt, konnten Wissenschaftler durch die Untersuchung von Proben von vielen tausend Menschen einen genetischen „Stammbaum" erstellen, der auf eine gemeinsame weibliche Vorfahrin aller heute lebenden Menschen hinweist. Diese „Mitochondriale Eva" hatte viele Zeitgenossen, aber sie trugen nicht zu unserer mtDNA bei. Sie lebte vor 200.000 bis 100.000 Jahren und war wahrscheinlich Afrikanerin oder eine der ersten Homo Sapiens, die Eurasien kolonisierten.

View attachment 8050

View attachment 8051

View attachment 8052

View attachment 8053

▶ Herto-Schädel Dieser Schädel aus Herto, Äthiopien, weist leichte Unterschiede zu anderen Schädeln des frühen Homo sapiens auf. Einige Anthropologen vermuten, dass es sich um eine Unterart handelt, den Homo sapiens idaltu.

DER ERSTE HOMO SAPIENS

View attachment 8054

View attachment 8055

Von allen Hominin-Arten und allen Varianten der Gattung Homo ist heute nur noch Homo sapiens übrig, der die Herausforderungen der letzten Eiszeit überlebt hat. Dies gelang ihm dank seiner einzigartigen Anatomie, die vor fast 200.000 Jahren in Afrika entstand.

Das charakteristische „Paket" anatomischer Merkmale, die heute lebende Menschen als Homo sapiens identifizieren, entwickelte sich allmählich, beginnend vor etwa 500.000 Jahren. Zu den Hauptmerkmalen gehören: Kugelschädel, sehr große Gehirne, kürzere, eingezogene Gesichter und kleinere Zähne, zusammen mit einem schlankeren, leichteren Skelett, kleineren Proportionen von Arm zu Unterschenkel und schmaleren Rippen. Das Auftreten dieser Veränderungen war komplex und trat zu unterschiedlichen Zeiten, an unterschiedlichen Orten und in unterschiedlichen Kombinationen auf, doch die Gehirngröße nahm überall weiter zu. Die ältesten Fossilien des Homo sapiens stammen aus Omo Kibish, Äthiopien. Die fragmentierten Schädel und Skelette zweier Individuen wurden auf die Zeit vor etwa 195.000 Jahren datiert und weisen eine moderne Morphologie (Form und Struktur) auf, wobei das eine jedoch weniger moderne Merkmale aufweist als das andere. Weitere frühneuzeitliche Fossilien wurden in Herto in Äthiopien, Singa im Sudan, Laetoli in Tansania, Jebel Irhoud in Marokko sowie Border Cave und Klasies River Mouth in Südafrika entdeckt. Sie alle sind zwischen 200.000 und 100.000 Jahre alt und weisen moderne Merkmale auf, wenn auch mit unterschiedlicher Morphologie.

Der lange Spaziergang beginnt Vor 120.000 bis 80.000 Jahren war der frühe Homo sapiens in den Nahen Osten und Westasien vorgedrungen. Die Überreste von über 20 Individuen, die aus den Höhlen von Skhul und Qafzeh in Israel geborgen wurden, weisen immer noch einige morphologische Unterschiede auf. Allerdings wurden tausende Kilometer weiter östlich in der Fuyan-Höhle in Daoxian, China, 47 ausgesprochen moderne Zähne mit flachen Kronen und dünnen Wurzeln gefunden. Daraus wird deutlich, dass uns Fossilien aus großen Teilen der langen Reise des Homo sapiens nach Asien fehlen und dass zumindest einige der Steinwerkzeuge, die in dieser Zeit auf seiner Route gefunden wurden, beispielsweise in Indien, von anatomisch modernen Menschen hergestellt wurden . Es ist auch sehr wahrscheinlich, dass die ältesten Steinwerkzeuge Australiens, die 55.000 Jahre alt sind, vom Homo sapiens hergestellt wurden, da sie bereits seit langer Zeit in Asien lebten. Wir können nicht sicher sein, was die Ausbreitung des Homo sapiens aus Afrika stimulierte und schließlich zur Entstehung einer einzigen globalen menschlichen Spezies führte. Es ist unwahrscheinlich, dass es sich um einen technologischen Fortschritt handelte, da ihre Steinwerkzeuge kaum fortschrittlicher waren als die vor 100.000 Jahren hergestellten. Möglicherweise wuchs die Bevölkerung und der Klimawandel spielte möglicherweise eine Rolle, aber zu dieser Zeit fanden auch wichtige kognitive und soziale Veränderungen statt. Der zunehmende symbolische Ausdruck vor 150.000 Jahren weist auf Innovationen hin, die wahrscheinlich mit der Erlangung einer Gehirngröße des Homo sapiens zusammenfielen, die der der heute lebenden Menschen ähnelte

View attachment 8056

▶ Afrikanische Herkunft Fossilien des frühen Homo sapiens wurden an verschiedenen afrikanischen Standorten gefunden. Genetische und skelettale Beweise zeigen, dass afrikanische Populationen bereits vor 120.000 Jahren regional unterschiedlich waren.

▶ Einziger Überlebender Homo sapiens ist die letzte Homininenart, lebte aber lange Zeit zusammen mit anderen Menschen, darunter Homo erectus, Homo floresiensis und den Neandertalern.

View attachment 8057

View attachment 8058

View attachment 8059

Babys großziehen

View attachment 8060

Veränderungen im menschlichen Fortpflanzungszyklus spielten eine wichtige Rolle für den Erfolg des Homo sapiens. Die zunehmende Gehirngröße machte die Geburt eines Kindes wahrscheinlich schwieriger, ermöglichte uns aber auch, genau die Kultur zu entwickeln, die wir für die Erziehung unserer relativ unentwickelten Jungen benötigen.

Die Wehen des Homo sapiens sind langwierig, schmerzhaft und riskant. Unsere Säuglinge sind groß, haben große Köpfe, sind meist hilflos und werden mit nur 30 Prozent der Gehirngröße eines Erwachsenen geboren. Um die gleiche Entwicklung wie neugeborene Schimpansen zu erreichen, müssten Schwangerschaften 16 Monate dauern. Auch unsere kindliche Entwicklung ist ausgedehnt und erfordert ein hohes Maß an Fürsorge, nicht nur von den Eltern, sondern auch von anderen Familienmitgliedern und Freunden. Um diese Komplikationen zu erklären, wird oft gesagt, dass eine größere Gehirngröße (siehe S. 188–189) in Verbindung mit Bipedalismus – der uns schmalere Becken bescherte – einen biologischen Kompromiss darstellte. Potenziell tödliche Geburten wurden dadurch vermieden, dass die Schwangerschaftsdauer begrenzt wurde und die Babys dadurch zu einer frühen Geburt gezwungen wurden. Es ist durchaus möglich, dass Homininen bereits vor etwa 500.000 Jahren schwierige Geburten erlebten und dass Frauen während der Wehen ein gewisses Maß an Unterstützung oder zumindest Begleitung hatten. Andere soziale Primaten wie Bonobos zeigen ein ähnliches Verhalten. Allerdings ist es auch wahr, dass nicht-zweibeinige Primaten einen engen Sitz im Geburtskanal haben, dass Kapuziner- und Schimpansenbabys relativ unentwickelte Gehirne haben und dass die Schwangerschaft beim Menschen tatsächlich länger dauert als angesichts unserer Körpergröße erwartet. Es kann sein, dass die Obergrenze der Schwangerschaftsdauer tatsächlich stoffwechselbedingt ist – der Punkt, an dem Mütter ein heranwachsendes Baby biologisch nicht mehr unterstützen können.

KOOPERATIVE ZÜCHTUNG Anatomische Veränderungen beeinflussten auch die Art und Weise, wie wir unsere Jungen großziehen. Da die Füße der Australopithecinen den mit dem Baumklettern verbundenen „großen Zeh" verloren, waren Säuglinge weniger in der Lage, sich an ihren Müttern festzuhalten, und benötigten mehr Pflege. Es ist möglich, dass die Ausbeutung von Tierhäuten eher auf die Notwendigkeit zurückzuführen ist, Tragetücher und Tragetücher für Babys herzustellen, als auf den Bedarf an warmer Kleidung. Obwohl die Zeit, die das Stillen verbrachte, wahrscheinlich mit der anderer Affen vergleichbar war und wie heute mehrere Jahre dauerte, könnten die höheren Anforderungen eines Hominin-Säuglings die Entwicklung der kooperativen Zucht gefördert haben, bei der mehrere Erwachsene ein Kind großziehen Kind. Wahrscheinlich wurde auch die Rolle nicht verwandter Erwachsener und älterer Generationen bei der Betreuung von Kindern wichtig, wodurch ein reichhaltiges Umfeld geschaffen wurde, in dem erfahrene Personen dabei beobachtet werden konnten, wie sie Nahrung fanden und Werkzeuge herstellten – lebenswichtige Fähigkeiten, die dann an die nächste Generation weitergegeben wurden.

View attachment 8061

▲ Geburt eines Gorillas Aufgrund seines kleinen Gehirns geht der Kopf eines Gorillababys durch

den Geburtskanal seiner Mutter und bietet so Platz, wodurch die Wehen kürzer und weniger riskant werden.

KOLLEKTIVES LERNEN

Die Entstehung der Sprache unterschied den Homo sapiens von anderen Arten: Mit der Sprache kam die Fähigkeit, Informationen über Generationen hinweg auszutauschen und zu speichern. Dies stellte sicher, dass neue Generationen mehr wissen konnten als die letzten und somit in der Welt effektiver sein konnten.

Die Praxis des Teilens und Speicherns von Informationen wird als „kollektives Lernen" bezeichnet. Im einfachsten Fall bedeutet dies, dass wir das Rad nur einmal erfinden müssen, denn dann kann dieses Wissen gespeichert und öffentlich geteilt werden. Die Alternative besteht darin, sich uns als eine Gruppe vernetzter Computer vorzustellen. Wie könnte sich die Menschheitsgeschichte ohne das Netzwerk – ohne Konnektivität – entwickeln?

KOOPERATIVES ÜBERLEBEN

Menschen scheinen weitaus stärker als andere Tiere dazu veranlagt zu sein, zusammenzuarbeiten. Die Wurzeln dieser Tendenz liegen bei Primaten, von denen die meisten in sozialen Gruppen mit starken Verwandtschaftsbeziehungen und Freundschaften leben. Allerdings leben Menschen in ungewöhnlich vielfältigen Gesellschaften und unser hohes Maß an Zusammenarbeit ist ein verbindendes Merkmal. Jäger-Sammler-Gruppen zum Beispiel bestehen in der Regel aus 25 bis 50 Individuen, sind aber in der Regel Teil ausgedehnter sozialer Netzwerke, die aus Blutsverwandten und anderen Arten von Verwandtschaft bestehen. Innerhalb und zwischen diesen Gruppen werden Nahrung, Arbeit und Kinderbetreuung geteilt – ebenso wie wichtige Informationen über Wasser, Raubtiere und die Verfügbarkeit von Nahrung. Die Entwicklung dieser Fähigkeit zur Zusammenarbeit lässt sich in den archäologischen Aufzeichnungen beobachten. Vor etwa 200.000 Jahren begann man, Steinwerkzeuge über immer größere Distanzen zu transportieren, was auf eine Ausweitung der sozialen Netzwerke hindeutet. Zu diesem Zeitpunkt wurden wahrscheinlich gemeinsam mehrteilige Werkzeuge wie Speere hergestellt. Später kamen spektakulärere Beispiele wie Atlatls und Bögen hinzu, und nach 40.000 Jahren wurden viele davon aufwendig verziert. Der Mas d'Azil-Atlatl beispielsweise ist eines von fünf nahezu identischen Objekten, die an verschiedenen Orten in den Pyrenäen gefunden wurden. Jedes ist in der Form eines Steinbocks geschnitzt, was auf eine gemeinsame künstlerische Tradition und wahrscheinlich auf ein gewisses Maß an Ausbildung hinweist. Darüber hinaus ist ein Atlatl, wie ein Bogen, ein „Werkzeug zur Verwendung eines Werkzeugs" – in diesem Fall ein Werkzeug zum Antreiben von Speeren –, was eine völlig neue Komplexität aufweist. Es zeigt, dass wir uns vor 17.000 Jahren immer geschickter an unsere Umwelt angepasst haben – als einziger aller Lebewesen durch kulturelle und nicht durch genetische Veränderungen. Dank kollektivem Lernen konnte die Geschichte der Menschheit beginnen.

▶ Informationsaustausch Heute machen die San in der Kalahari Feuer und nutzen dabei das Wissen, das ihre Vorfahren über Zehntausende von Jahren weitergegeben haben.

View attachment 8068

View attachment 8069

▲ Mas d'Azil-Atlatl Dieses exquisite Atlatl aus Rentiergeweih wurde in der Mas d'Azil-Höhle in den Pyrenäen in Frankreich gefunden und ist ein frühes Beispiel für Massenkunst. Seine geheimnisvolle Symbolik war in der Region kurzzeitig weit verbreitet und ein Beweis für gemeinsame Erzähltechniken.

▶ Wurfkraft Ein Atlatl oder Speerwerfer ist ein Gerät, das Hebelwirkung nutzt, um die Wurfkraft zu verstärken. Der Speer wird durch einen Haken an der Rückseite des Atlatls festgehalten, und dieser gewinnt an Energie, wenn der Jäger den Speer wirft.

View attachment 8070

View attachment 8071

> “ Eine Gruppe kann das hart Erkämpfte zusammenlegen ENTDECKUNGEN VON MITGLIEDERN, GEGENWART UND VERGANGENHEIT UND AM ENDE VIEL SMARTER ALS Ein Rennen der Einsiedler.
>
> Steven Pinker, Kognitionswissenschaftler, 1954–

View attachment 8072

View attachment 8073

View attachment 8074

View attachment 8075

View attachment 8076

View attachment 8077

View attachment 8078

View attachment 8079

Jäger und Sammler tauchen auf

View attachment 8080

Seit jeher überlebten die meisten Homininen, indem sie von der Welt um sie herum sammelten, was sie konnten, anstatt ihre eigene Nahrung zu produzieren. Die Auswahl der verzehrten Lebensmittel und die Art und Weise ihrer Beschaffung variierten je nach Umgebung und erforderten ein hohes Maß an sozialer Organisation.

Frühe Mitglieder der Homininenfamilie ernährten sich vielfältig – hauptsächlich aus Früchten, Blättern und Insekten – und einige nutzten wahrscheinlich Kieselsteine, um Nüsse zu knacken, wie es heute Primaten tun. Die ersten Steinwerkzeuge erleichterten die Lebensmittelverarbeitung, und obwohl diese vor mindestens 3,3 MYA von Prä-Homo-Arten hergestellt wurden, stammen die frühesten Beweise für ihre Funktion etwa eine Million Jahre später. Die Analyse der Oberflächen von Werkzeugen, die in Kanjera South, Kenia, gefunden wurden, zeigt, dass Pflanzen und Fleisch verarbeitet wurden, wahrscheinlich von Homo habilis. Die Werkzeuge stammen aus dem Jahr etwa 2 MYA und wurden mit einer frühen Technologie namens Oldowan hergestellt. An derselben Stelle gibt es auch Hinweise auf Jagd – oder zumindest auf Aasfresserbeute durch andere Tiere. Ganze Kadaver kleiner Gazellen wurden hereingebracht und zerschnitten; Da darüber Zahnspuren von Fleischfressern liegen, ist es klar, dass Homininen den ersten Zugang hatten. Um 1,8 MYA, mit dem Aufkommen des Homo erectus und einer verbesserten Methode zur Herstellung von Handäxten, der sogenannten Achelean-Technologie, scheint die Jagd zugenommen zu haben. Hunderte von Fußabdrücken, die in Ileret, Kenia, aus dem Jahr 1,5 MYA gefunden wurden, zeigen, dass kleine Gruppen von Erwachsenen das Seeufer umkreisten – genau wie Fleischfresser es tun. Zumindest zeigt es, dass eine kooperative Nahrungssuche im Gange war. Vor etwa 700.000 Jahren hatte sich die Ernährungsweise diversifiziert. In Gesher Benot Ya'aqov in Israel gibt es Hinweise auf Nussknacken und die Ausbeutung großer Tiere, darunter Elefanten, obwohl unklar ist ob die Elefanten gejagt oder gefressen wurden. Es wird angenommen, dass auch verschiedene Pflanzenressourcen während der europäischen Eiszeiten wichtig waren, sowohl für den Neandertaler als auch später für den Homo sapiens, große Mengen an Fett und Fleisch waren jedoch weiterhin überlebenswichtig.

ANPASSUNGSFÄHIGKEIT ERLERNT Um die vielfältigen Nahrungsressourcen in unterschiedlichen Umgebungen optimal nutzen zu können, waren Investitionen in komplizierte Technologien und ein Engagement für den Wissenserhalt erforderlich. Die Fähigkeit, große Tiere zu jagen, deutet darauf hin, dass Homininen ab Homo erectus wahrscheinlich schon in früher Kindheit das Fährtenlesen lernten. Ab 200.000 Jahren jagten Neandertaler Vögel, und mindestens 120.000 Jahre später waren Homo sapiens auf der Suche nach Schalentieren. Unsere Spezies besiedelte die rauesten Umgebungen, einschließlich der Arktis, was darauf hindeutet, dass wir über besonders flexible Fähigkeiten verfügten. Sammler lebten typischerweise in mobilen Gemeinschaften, die im Großen und Ganzen egalitär waren. Allerdings könnten reichlich vorhandene und vorhersehbare Ressourcen wie Fisch die Menschen dazu ermutigen, an den gleichen Orten zu bleiben und sogar halb sesshaft zu werden – schließlich würde eine Alternative zur Lebensweise von Jägern und Sammlern entstehen.

▼ Sich entwickelnde Technologien Der Homo sapiens verbreitete sich auf der ganzen Welt, indem er neue Technologien erfand, wie etwa diesen dreizackigen Speer, den die Inuit zum Fischfang in der Arktis verwendeten.

View attachment 8081

> “ Es gab nichts, was sie nicht zusammenbauen konnten EINE MINUTE, IN DECKEN EINWICKELN UND WEITER MACHEN IHRE SCHULTER FÜR EINE REISE VON TAUSEND MEILEN
>
> Laurens van der Post, Schriftsteller und Naturschützer, 1906–1996, über die San-Buschmänner der Kalahari

View attachment 8082

PALÄOLITHISCHE KUNST

Für viele bedeutet das Wort „Kunst" gegenständliche Bilder und „Paläolithische Kunst" ist eine Abkürzung für eine rein europäische Tradition. Die paläolithische Kunst ist jedoch viel vielfältiger und lässt sich auf symbolische grafische Schöpfungen zurückführen, die vor über 100.000 Jahren entstanden sind.

Frühe Ansätze künstlerischen Ausdrucks sind in den gravierten Eierschalen zu erkennen, die im Diepkloof Rock Shelter in Südafrika (siehe S. 208) gefunden wurden und aus der Zeit vor über 100.000 Jahren stammen. Allerdings liegen uns keine klaren Darstellungen erkennbarer Figuren vor 50.000 Jahren vor. Derzeit sind die beiden ältesten Gemälde der Welt (beide ca. 40.000 Jahre alt) ein einzelner roter Punkt, der in der Höhle El Castillo in Spanien gefunden wurde, und eine Handschablone, die in der Höhle Leang Timpuseng in Sulawesi, Indonesien, gefunden wurde. Dies beweist, dass Kunst zu dieser Zeit weit über Europa hinaus ausgeübt wurde, auch wenn die meisten der erhaltenen Werke veraltet waren Beispiele sind europäisch. Die Chauvet-Höhle in Frankreich beispielsweise bewahrt einige der beeindruckendsten Bilder dieser Zeit, darunter Darstellungen von fast 450 Tieren. Sie wurden in zwei Phasen gemalt, die erste begann vor fast 37.000 Jahren, die zweite über 2.000 Jahre später. Die Wände der Höhle wurden von den Künstlern sorgfältig präpariert und die Bilder zeigen ein tiefes Verständnis für Bewegung und Perspektive. Etwa zur gleichen Zeit wurde in Leang Timpuseng ein schweineähnliches Tier gemalt. Es erschien die allererste Höhlenmalerei der australischen Aborigines, die eindeutig datiert wurde Bald darauf (ca. 28.000 Jahre alt) und vor 20.000 Jahren begannen auf der ganzen Welt zahlreiche Traditionen zu blühen. Im Laufe dieser Zeit wurde auch „tragbare" Kunst hergestellt, darunter ein weiblicher geschnitzter Anhänger, der im Hohle Fels, Deutschland, entdeckt wurde (ca. 40.000 Jahre). Der Hohle Fels „Venus" ist die älteste bekannte Darstellung eines Menschen. Zu den weiteren Traditionen gehörte das Schnitzen von Elfenbein, Knochen und Geweihen sowie in Osteuropa das Brennen von Ton zur Herstellung von Tier- und Menschenfiguren. Die Bedeutung dieser Werke lässt sich nur erahnen, doch ihre wachsende Bedeutung für die Menschen dieser Zeit steht außer Zweifel.

▼ Bemalte Höhle Die Chauvet-Höhle in Frankreich beherbergt riesige Tiergruppen, darunter Bisons, Pferde und Löwen – aber keinen einzigen vollständigen Menschen.

View attachment 8083

View attachment 8084

View attachment 8085

◀ Der Zaraysk-Bison Diese rekonstruierte Figur aus Russland ist ein Meisterwerk naturalistischer Schnitzerei. Es war aus Elfenbein gefertigt und mit rotem Pigment eingerieben und wurde zerschlagen, bevor es in einer Grube vergraben wurde.

> [ANTIKE KUNST] KANN EIN VERHANDLUNGSVERSUCH SEIN ... MIT DEM MENSCHLICHEN INTELLEKT UND SEINER FÄHIGKEIT Besetzen Sie oft illusorische Bereiche, die sich von ihnen unterscheiden DIE WIRKLICHKEIT DER RESTLICHEN NATUR.
>
> Jill Cook, Archäologe, 1960 –

▶ Hohle Fels Venus Dieser Elfenbeinanhänger ist die älteste bekannte weibliche Figur.

View attachment 8086

View attachment 8087

DIE ERFINDUNG DER KLEIDUNG

Kleidung schützt uns vor Kälte, vor Sonnenbrand, vor Insektenstichen und sogar vor bestimmten Waffen. Kurz gesagt: Es macht uns anpassungsfähiger. Im Paläolithikum ermöglichte es uns, in einer Reihe lebensfeindlicher Umgebungen zu leben und unsere Verbreitung auf der ganzen Welt zu beginnen.

Aus physischen Beweisen wissen wir, dass der frühe Homo sapiens und der Neandertaler Pigmente verwendeten und möglicherweise Schmuck trugen, aber die frühesten Beweise für Kleidung sind meist indirekter Natur, da Kleidung im Boden nicht gut überlebt. Biologische Studien deuten darauf hin, dass Hominin-Arten auf der Nordhalbkugel während sehr kalter Eiszeiten maßgeschneiderte Körperbedeckungen benötigten. Sogar die Neandertaler, von denen angenommen wird, dass sie körperlich an Kälte angepasst waren, mussten mindestens 80 Prozent ihres Körpers bedecken, insbesondere ihre Hände und Füße. Ein weiterer Hinweis stammt aus der Untersuchung von Parasiten. Körperläuse sind an das Leben in Kleidung angepasst und das geschätzte Alter ihrer Abspaltung von Kopfläusen liegt laut DNA-Studien bei mindestens 170.000 Jahren. Vor langer Zeit gab es zahlreiche Arten von Menschen – darunter Neandertaler, Denisova-Menschen, Homo floresiensis und uns selbst – und es ist möglich, dass der Austausch zwischen den verschiedenen Arten von Menschen sowohl zur Gewohnheit des Tragens von Kleidung als auch zur Verbreitung dieser Parasiten geführt hat.

DIE ERSTEN STOFFE Die frühesten Kleidungsstücke waren wahrscheinlich tierischen Ursprungs. In Neumark-Nord, Deutschland, wurden winzige Fetzen tanningetränkten organischen Materials an einem Steinwerkzeug gefunden, was darauf hindeutet, dass Neandertaler vor über 100.000 Jahren Häute gerbten. Sie hatten keine Nadeln, hätten aber mit vorhandenen Werkzeugen zum Durchstechen und Einfädeln Leder- und Fellstücke nähen können. Knochenwerkzeuge mit abgerundeten Enden wurden in 40.000 Jahre alten Neandertaler-Stätten gefunden, und dabei handelte es sich wahrscheinlich um „Lissoirs" – Werkzeuge zum Weichmachen von Leder, die denen sehr ähnlich sind, die heute noch verwendet werden. Die ältesten Knochennadeln stammen aus der Zeit vor 20.000 Jahren, wurden aber wahrscheinlich sowohl zum Perlensticken als auch zum Nähen anderer Materialien verwendet. Die Verwendung von Pflanzen zur Herstellung von Stoffen scheint mit dem Homo sapiens zu beginnen. In der Dzudzuana-Höhle in Georgia wurden gefärbte Pflanzenfasern aus der Zeit vor 30.000 Jahren gefunden. Andere Fundstellen zeigen, dass bereits vor mindestens 28.000 Jahren Stoffe gewebt wurden. Winzige Abdrücke in gebrannten Tonfragmenten aus den Stätten Pavlov und Dolni Vestonice in der Tschechischen Republik zeigen feine Textilien, die mit Leinen vergleichbar sind und möglicherweise aus Flachs oder Brennnessel hergestellt wurden, sowie Netze und Korbwaren. Wir können nicht sicher sein, dass diese Stoffe für Kleidung verwendet wurden, aber einige der geschnitzten menschlichen Figuren aus derselben Region und derselben Zeit scheinen zu zeigen, dass geflochtene oder gewebte Mützen und Gürtel getragen wurden. Andere Schnitzereien aus der sibirischen Stätte Malta, die einige tausend Jahre später entstanden, könnten Ganzkörperkostüme mit Kapuze darstellen, möglicherweise aus Pelz.

Die Herstellung von Textilien aus Pflanzenfasern setzte sich bis in die Mittelsteinzeit fort, als Bast (aus Baumrinde) zu Kleidung gesponnen wurde. Allerdings gibt es bis zum Aufkommen der Landwirtschaft keine Belege für deren Ersatz durch weichere tierische Fasern wie Wolle.

▶ Begrabener Prinz Von der Kleidung des „Jungen Prinzen", die in der Höhle Arene Candide in Italien gefunden wurde, sind nur noch Muscheln übrig. Er wurde vor über 23.000 Jahren begraben.

View attachment 8088

View attachment 8089

View attachment 8090

▶ Prähistorisches Kleid Diese Rekonstruktion einer prähistorischen Person basiert auf Überresten, die in der Stätte Abri Pataud in Aquitanien, Frankreich, gefunden wurden. Die Stätte enthielt menschliche Überreste, Figuren, Werkzeuge und Höhlenmalereien aus der Zeit vor 47.000 bis 17.000 Jahren, einer Zeit, in der die Kleidung nach Ansicht von Archäologen relativ raffiniert geworden war.

Beweise deuten darauf hin MENSCHEN WAREN MÖGLICHERWEISE SCHMUCK TRAGEN BISHER WIE VOR 75.000 JAHREN

ZEITPLAN | MENSCHEN GESTALTEN FEUER

Die Fähigkeit, Feuer zu nutzen, ist einzigartig beim Menschen und könnte eine wichtige Impulsquelle für die Entwicklung der Gattung Homo gewesen sein. Allerdings haben wir es möglicherweise erst relativ spät in der Hominin-Evolution vollständig kontrolliert.

Der früheste Beweis für einen Brand stammt aus der Wonderwerk-Höhle in Südafrika, wo eine sorgfältige Analyse von fast eine Million Jahre alten Sedimenten zeigt, dass Knochen und Pflanzen absichtlich tief im Inneren der Höhle verbrannt wurden. Es ist jedoch möglich, dass die frühen Homininen Brände ausnutzten, die durch Naturereignisse wie Blitzeinschläge entstanden waren. Der erste wiederholte, kontrollierte Einsatz von Feuer stammt aus der Zeit vor knapp 800.000 Jahren in Gesher Benot Ya'aqov, Israel, wo verbrannte Materialien über einen Zeitraum von 100.000 Jahren immer wieder auftauchen, was zeigt, dass Homo erectus Feuer erzeugte und aufrechterhielt.

TECHNOLOGIE UND SOZIALES LEBEN

Vor 400.000 Jahren zeigt die zunehmende Häufigkeit von Standorten mit tiefen Schichten aus Asche, Holzkohle und verbrannten Knochen eine gewohnheitsmäßige Kontrolle des Feuers. In Europa fällt dies mit dem Auftauchen der Neandertaler zusammen, die es offenbar als erste zu Produktionszwecken genutzt haben. Am italienischen Standort Campitello (ca. 300.000 Jahre v. Chr.) wurden mit Birkenrindenpech überzogene Steinwerkzeuge gefunden, die zur Herstellung mehrteiliger Werkzeuge verwendet wurden. Die Vertrautheit mit dem Feuer veränderte auch unser soziales Leben. Wohnräume rund um Feuer entstanden bereits vor 200.000 Jahren und spielten möglicherweise eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung der Sprache. Das Lagerfeuer sorgte für mehr Licht zum Arbeiten, reichte aber nicht aus, um schwierige Aufgaben zu erledigen, und schuf so Gelegenheiten für Gespräche und Geschichtenerzählen. Hier fanden vor fast 800.000 Jahren auch die ersten Kochexperimente statt. Vor etwa 35.000 Jahren experimentierten die Menschen in Osteuropa etwa 5.000 Jahre lang mit Feuer und Ton und stellten Tier- und Menschenfiguren her; Vor 20.000 Jahren wurde in China die erste Töpferware hergestellt. Von da an trieb das Feuer viele neue Technologien voran, insbesondere als die Menschen ihren Jäger-Sammler-Lebensstil aufgaben.

View attachment 8091

▲ Kupferwaffen Kupfer war das erste Metall, das vermutlich vor etwa 5.800 Jahren im Nahen Osten geschmolzen wurde. Die ersten Öfen waren einfache Erdlöcher, in denen Kupfer aus Erzen wie Malachit gewonnen wurde. Klingen wie die von Ötzi, dem Mann aus dem Eis, wurden dann kaltgehämmert in Form gebracht (siehe S. 282–83).

View attachment 8092

View attachment 8093

◀ Tongefäße Tongefäße, wie dieser vom Jomon-Volk aus Japan hergestellte Topf, haben unsere Fähigkeit zum Kochen und Aufbewahren von Lebensmitteln erheblich verbessert. Ihre Produktion verbreitete sich mit der Einführung des landwirtschaftlichen Lebensstils, als starke Behälter für Getreide und andere Lebensmittel benötigt wurden.

◀ Tonfiguren Die älteste gebrannte Figur ist die „Venus von Dohlni Vestonice" aus Kroatien. Sie wurde vor etwa 29.000 bis 25.000 Jahren hergestellt und ist ein Beweis dafür, dass ihre Erbauer mit Feuer experimentierten.

▲ Bronzerüstung Bronze wurde durch Zugabe von Zinn zu Kupfer während des Schmelzprozesses hergestellt. Es war wesentlich härter als Kupfer und verschaffte in Bronze gekleideten Soldaten einen deutlichen Vorteil im Kampf. Dieser Helm wurde vor etwa 2.650 Jahren von einem griechischen Soldaten getragen.

> “ HERZSTÄTTE SIND ORTE ZUM SITZEN UND AUSTAUSCH VON NEUIGKEITEN ... HERSTELLEN UND REPARIEREN VON STEINWERKZEUGEN, BESPRECHEN SIE DEN TAGES Jagen Sie und machen Sie Pläne für die Zukunft.
>
> John McNabb, Archäologe, 1960 –

▼ Herstellung von Birkenrindenpech Birkenrindenpech, der erste synthetische Stoff, wurde seit der Altsteinzeit als Klebstoff verwendet. Es wurde erstmals von den Neandertalern hergestellt und durch mehrstündiges „Kochen" von Birkenrinde in einem Feuer bei kontrollierten Temperaturen hergestellt. Der verflüssigte Teer wurde dann gesammelt und abkühlen gelassen. Beim Aushärten wurde es wie Kitt auf die Gelenke mehrteiliger Werkzeuge aufgetragen.

View attachment 8094

View attachment 8095

BEstattungspraktiken

View attachment 8096Im Paläolithikum tauchte die menschlichste aller Eigenschaften auf: Respekt und sogar Sorge vor den Toten. Die damaligen Rituale waren einfach, aber sie kündigten eine Zeit an, in der Gräber für ganze Generationen von Vorfahren gebaut werden würden.

Praktiken im Zusammenhang mit dem Tod sind wichtig, weil sie auf wichtige intellektuelle Fähigkeiten hinweisen, beispielsweise auf das Verständnis der Zeit. Die Fähigkeit zu begreifen, dass ein Individuum von einem lebenden Zustand in einen Zustand des Todes übergegangen ist, scheint einzigartig beim Menschen zu sein, aber andere Arten zeigen Anzeichen von Verständnis. Elefanten zum Beispiel zögern möglicherweise, die Körper toter Gruppenmitglieder zu verlassen, und Schimpansen zeigen eine außergewöhnliche Bandbreite an Reaktionen, von extremer Aufregung bis hin zu stundenlangem stillem Verweilen bei einem Körper und manchmal wochenlangem Tragen der Leichen von Säuglingen. Es ist jedoch unmöglich zu wissen, ob diese Reaktionen lediglich die Auswirkungen von Verwirrung und Kummer oder echte Ausdrucksformen von Verlust und Traurigkeit sind.

Die ersten Bestattungen unter freiem Himmel Fand rund 40.000 statt JAHRE ZUVOR. VORHER, ALLE BEERDIGUNGSPRAKTIKEN Fand in Höhlen statt

View attachment 8097
▶ Schädelbecher Die in Gough's Cave gefundenen Schädelreste weisen alle Herstellungsspuren auf. Das sorgfältige Schneiden und Reinigen des Knochens lässt darauf schließen, dass der Schädel für rituelle Zwecke verwendet wurde.

Die ersten Bestattungen Der früheste Beweis dafür, dass Homininen die Toten anerkennen, ist die Praxis des „Zwischenspeicherns" oder Sammelns von Leichen. Vor etwa 430.000 Jahren wurden in Sima de Los Huesos, Spanien, mindestens 28 Homininen absichtlich in eine tiefe Grube gelegt, begleitet von einem einzigen auffällig gefärbten Steinwerkzeug. Die vollständige Beisetzung der Leichen begann erst viel später. Vor etwa 92.000 Jahren wurden mehrere Homo sapiens in Qafzeh und Skhul in Israel begraben. Dazu gehörten ein junger Erwachsener und ein Kind, die gemeinsam begraben wurden, und ein Teenager, der mit einem Geweih auf der Brust beigesetzt wurde. Nach 40.000 Jahren nimmt die Häufigkeit der Bestattungen zu, ebenso wie die Zahl der mit Gegenständen bestatteten Leichen. In Sungir, Russland, wurden vor etwa 25.000 Jahren zwei Kinder Kopf an Kopf in einem einzigen Grab begraben, begleitet von Speeren, Tausenden von Perlen und einem einzelnen, mit rotem Pigment gefüllten Oberschenkelknochen eines Erwachsenen. Solch reiche Bestattungen waren jedoch selten. Einfachere Bestattungen waren üblich, und einzelne Körperteile wurden manchmal separat beigesetzt

Die Toten essen Schnittspuren von Steinwerkzeugen, die sowohl auf Neandertaler- als auch auf Homo-sapiens-Überresten gefunden wurden, deuten auf eine weitere Facette paläolithischer Bestattungspraktiken hin. Die Markierungen, die auf verschiedenen Knochen auftreten, wurden durch die absichtliche Entnahme von Fleisch aus dem Körper oder durch das Zerschneiden des Körpers verursacht. Dies könnte ein Mittel zur Interaktion mit oder zur Ehrung der Toten gewesen

sein, könnte aber auch ein Hinweis darauf sein, dass die Bevölkerung aus Ernährungsgründen auf Kannibalismus zurückgreifen musste. Eine Reihe solcher Knochen wurde 1898 in Gough's Cave im Vereinigten Königreich gefunden. Die Knochen stammen aus der Zeit vor 14.000 Jahren und sind mit ziemlicher Sicherheit ein Beweis für Kannibalismus. Sie enthielten mehrere geschnitzte „Schädelbecher" – die frühesten Beispiele für die Verwendung menschlicher Schädel Trinkgefäße.

View attachment 8098

View attachment 8099