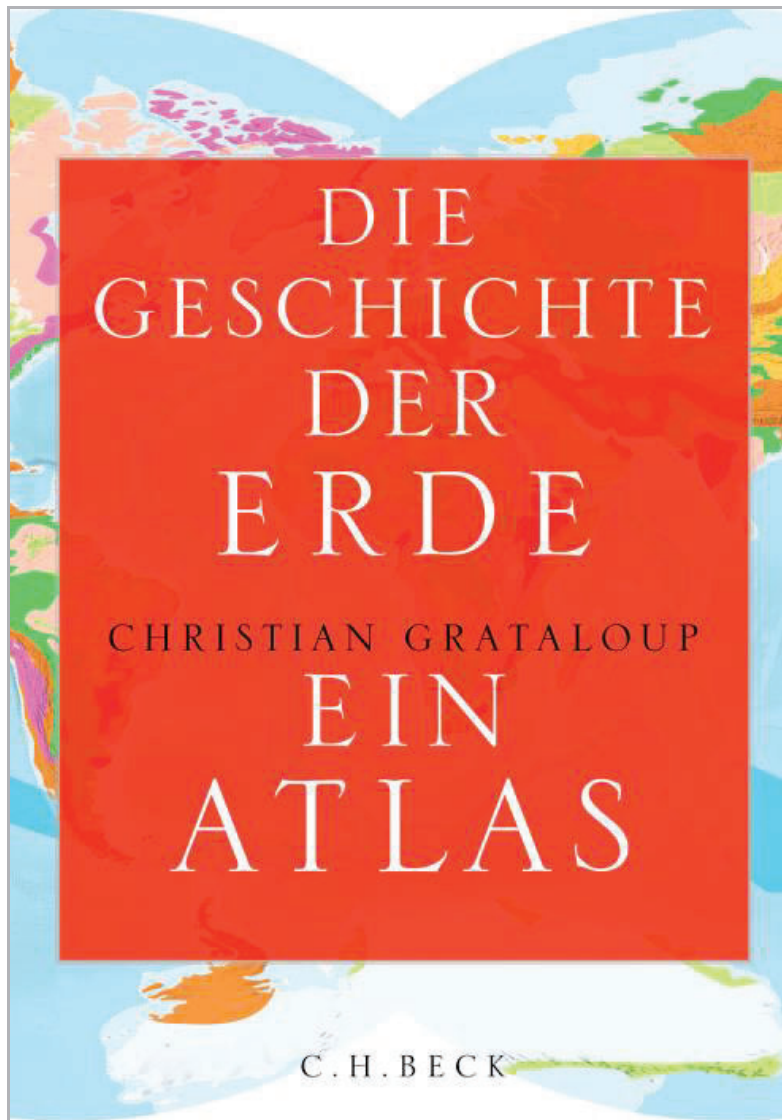


**Unverkäufliche Leseprobe**



**Christian Grataloup**  
**Die Geschichte der Erde**  
Ein Atlas

2024. 336 S., mit über 300 Karten und Abbildungen  
ISBN 978-3-406-82230-8

Weitere Informationen finden Sie hier:  
<https://www.chbeck.de/36968535>

© Verlag C.H.Beck oHG, München  
Diese Leseprobe ist urheberrechtlich geschützt.  
Sie können gerne darauf verlinken.

CHRISTIAN GRATALOUP

Die Geschichte  
der **ERDE**  
Ein **ATLAS**



CHRISTIAN GRATALOUP

Die Geschichte  
der **ERDE**  
Ein **ATLAS**

Unter Mitarbeit von Charlotte Becquart-Rousset,  
Léna Hespel und Héloïse Kolebka

Aus dem Französischen übersetzt von Frank Sievers,  
Martin Bayer, Nele Boysen und Jens Hagedstedt

C.H.BECK

Titel der französischen Originalausgabe:  
«Atlas historique de la Terre et de son usage par les humains»  
© Les Arènes & Croque Futur, Paris, 2022

Martin Bayer, Nele Boysen und Jens Hagestedt haben die Karten  
übersetzt, Frank Sievers die begleitenden Texte.

**Projektleitung**

Valérie Hannin, Philippe Pajot  
und Jean-Baptiste Bourrat

**Gestaltung**

Vincent Lever

**Leitung der Kartografie**

Héloïse Kalebka (*L'Histoire*) und  
Frédéric Miotto (Légendes Cartographie)

**Karten**

Marie-Sophie Putfin, Frédéric Miotto, Lucille Dugast,  
Allix Piot und Salomé Choukroun

**Redaktion der Begleittexte**

Christian Grataloup, Charlotte Becquart-Rousset,  
Léna Hespel und Héloïse Kalebka  
mit Jeanne Barnicaud

**Textrevision**

Sarah Ahnou und Isabelle Paccalet mit Alice Posière

Für die deutsche Ausgabe:

© Verlag C.H.Beck oHG, München 2024

Alle urheberrechtlichen Nutzungsrechte bleiben vorbehalten.

Der Verlag behält sich das Recht vor, Vervielfältigungen dieses Werks  
zum Zwecke des Text und Data Mining vorzunehmen.

[www.chbeck.de](http://www.chbeck.de)

Umschlaggestaltung: Rothfos & Gabler, Hamburg

Umschlagabbildung: Geologie der Erde (S. 32/33)

Satz: Fotosatz Amman, Memmingen

Druck und Bindung: Appl, Wemding

Gedruckt auf säurefreiem und alterungsbeständigem Papier

Printed in Germany

ISBN 978 3 406 82230 8



verantwortungsbewusst produziert  
[www.chbeck.de/nachhaltig](http://www.chbeck.de/nachhaltig)

Für François Durand-Dastès  
(1931–2021)

Dieser Atlas ist die Ernte dessen, was François Durand-Dastès gesät hat: eine geografische Darstellung der Menschen auf der Erde, die die Komplexität der Interaktionen zwischen den menschlichen Gesellschaften und der biophysischen Welt ebenso berücksichtigt wie die wissenschaftliche und didaktische Notwendigkeit, sie in einfachen, verständlichen Karten und Modellen darzustellen.

# Die Geschichte der Erde. Ein Atlas: Autoren und Beiträger

---

**Christian Grataloup**, «der Historiker unter den Geografen», ist Agrégé (Absolvent) und Doktor der Geografie, ehemaliger Professor an der Universität Paris-Cité und Spezialist für Erdgeschichte. Mitautor zahlreicher Buchveröffentlichungen: *Géohistoire de la mondialisation* (Armand Colin 2015), *Atlas global* (Les Arènes 2016), *Le Monde dans nos tasses* (Armand Colin 2017), *Atlas historique mondial* (Les Arènes 2019; dt.: *Die Geschichte der Welt. Ein Atlas*, C.H.Beck 2023), *L'Invention des continents et des océans* (Larousse 2020; dt.: *Die Erfindung der Kontinente*, WBG 2021) und *Atlas historique de la France* (Les Arènes 2020). Außerdem betreut er in der Zeitschrift *Carto* eine Rubrik mit Nachrichten aus der erdgeschichtlichen Forschung.

**Héloïse Kolebka**, Diplom-Politologin (Universität Paris), ist seit 2014 Chefredakteurin der Zeitschrift *L'Histoire*. Sie zeichnet seit über 20 Jahren gemeinsam mit den Kartografen von *Légendes Cartographie* Landkarten und hat bereits an den beiden Vorgängerwerken des vorliegenden Buchs mitgearbeitet, dem *Atlas historique mondial* (Les Arènes 2019) und dem *Atlas historique de la France* (Les Arènes 2020).

**Charlotte Becquart-Rousset**, Agrégée (Absolventin) der Geografie, unterrichtet an der Sorbonne. Sie befasst sich insbesondere mit der Vorbereitung von Lehramtsprüfungen (Capes, Agrégation) und gehörte der Jury des Capes-Wettbewerbs für historische Geografie an. Sie hat an der Redaktion mehrerer Gesamtdarstellungen und Handbücher mitgewirkt, unter anderem am *Atlas historique mondial* (Les Arènes 2019) und am *Atlas historique de la France* (Les Arènes 2020).

**Philippe Pajot** hat sich nach dem Studienabschluss in Astrophysik (1994) seine Spuren als Wissenschaftsjournalist bei der Zeitschrift *Pour la science* verdient, wo er als stellvertretender Chefredakteur tätig war. Anschließend war er Chefredakteur bei *Ciel et Espace* und schrieb anschließend zehn Jahre lang Beiträge für Zeitungen und Zeitschriften (*Science et Vie junior*, *Le Monde*, *Ça m'intéresse*, *Sciences et Avenir*) und arbeitete an Büchern u. a. für das CNES und den Verlag Cherche midi mit. Seit 2017 ist er Chefredakteur der Zeitschrift *La Recherche*. 2011 erschien im Verlag Le Cavalier bleu sein Buch *Parcours de mathématiciens*.

**Léna Hespel** ist Wissenschaftsjournalistin. Nach ihrem Masterabschluss in Biologie und einem Studium an der École supérieure de journalisme (ESJ) in Lille schreibt sie für verschiedene Wissenschafts- (u. a. *Pour la science*, *Science et Vie*, *La Recherche*) und Publikumszeitschriften.

**Légendes Cartographie** ist eine Kartografieagentur, die seit 1996 die Karten für die Zeitschrift *L'Histoire* erstellt. *Légendes Cartographie* war für sämtliche Landkarten der bisherigen Veröffentlichungen Christian Grataloups beim Verlag Les Arènes zuständig und ist auch an der großen Atlantenserie beteiligt, die *Le Monde/La Vie* seit 2007 herausgibt. Die Agentur ist außerdem in wissenschaftlichen Veröffentlichungen der Verlage Nathan, Hachette, Hatier und Belin éditeur sehr präsent und arbeitet regelmäßig für die Zeitschrift *Carto*.

**Romain Amiot**

Paläontologe

**Jeanne Barnicaud**

Doktorandin im Fach Zeitgeschichte an der Universität Paris-1

**Isabelle Catteddu**

Archäologin am Institut national de recherches archéologiques préventives (INRAP) mit Spezialgebiet Landwirtschaft und bäuerliche Kultur im Frühmittelalter

**Jean-Paul Demoule**

Emeritierter Professor für europäische Ur- und Frühgeschichte an der Universität Paris-1

**François Durand-Dastès**

Geograf

**Jean-Baptiste Fressoz**

Umwelthistoriker

**Éric Guilyardi**

Meeresforscher und Klimakundler

**Liliane Hilaire-Pérez**

Professorin für Geschichte der Neuzeit an der Universität Paris-Cité, Spezialistin für Technikgeschichte

**François Jarrige**

Spezialist für Geschichte der Industrialisierung im 19. Jahrhundert

**Jacques Jaubert**

Ur- und Frühgeschichtler und Archäologe

**Guillaume Lecointre,**

Zoologe und Spezialist für Taxonomie

**Florian Mazel**

Professor für mittelalterliche Geschichte an der Universität Rennes-2

**Fabrice Not**

Meeresbiologe

**Didier Paillard**

Paläoklimatologe am Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (Labor für Klimatologie und Umweltwissenschaft)

**Fabien Paquet**

Moderator der Tagungen zur mittelalterlichen Geschichte an der Universität Caen

**Antonio Pérez Balarezo**

Anthropologe

**Catherine Perlès**

Emeritierte Professorin an der Universität Paris-Nanterre, Spezialistin für jungsteinzeitliche Archäologie

**Yann Potin**

Historiker und Archivar an den Archives nationales de France (Französisches Nationalarchiv), Spezialist für Ur- und Frühgeschichte

**Lionel Ranjard**

Bodenökologe, Spezialist für Mikrobiologie des Bodens

**Stephen Rostain**

Forschungsleiter am Centre national de la recherche scientifique (CNRS), Spezialgebiet: Archäologie des Amazonasbeckens

**Dalila Sekkaï**

Doktorin der Biochemie, Agrégée (Absolventin) der Biochemie mit Fachrichtung Biologie und Professorin für Biotechnologie

**Gabriel Tobie**

Planetologe

**Boris Valentin**

Professor für Archäologie der Ur- und Frühgeschichte an der Universität Paris-1

**Catherine Virlouvet**

Emeritierte Professorin für Römische Geschichte an der Universität Aix-en-Provence-Marseille





# Der Planet der Menschen und der Anderen

---

**W**ir, die 8 Milliarden Menschen, wohnen auf einem unbedeutenden Planeten, der sich um einen ganz gewöhnlichen Stern dreht. Aber dieser Planet hat eine Besonderheit, die bislang noch nirgendwo sonst beobachtet wurde: Er birgt Leben. Natürlich sind wir nur eine Variante im bunten Strauß der Lebensformen auf diesem Planeten, aber immerhin eine, die sich als besonders erobersfreudig erwiesen hat, um nicht zu sagen «invasiv». Die wachsende Umweltangst angesichts des Klimawandels, des Artensterbens und der schweren Umweltverschmutzung spielte bei der Entwicklung dieses Atlas eine zentrale Rolle. Sein Interesse gilt unseren heutigen Anforderungen und Fragestellungen – was in diesem Bereich etwas vollkommen Neues ist.

## Die Gegenwart der Vergangenheit

Wie in der rechten Spalte unserer Gliederung auf Seite 11 zu sehen ist, hat alles einen Anfang, aber kein Ende. Das Universum existiert heute und wird auch noch morgen existieren. Der Planet Erde ist darin nur ein winziger Punkt (und wird es auch bleiben), aber es gibt auf ihm Leben (was auch so bleibt), und das menschliche Tier nimmt immer größeren Raum darauf ein (wird sich das eines Tages ändern?). Es bewirtschaftet den Boden und domestiziert die anderen Tiere. Es hat, nachdem es sich auf der gesamten Erdoberfläche ausgebreitet hatte, den Kontakt zu den verstreuten Gruppen seiner Art gesucht. Es hat Kohle abgebaut und fragt sich jetzt, nachdem seine Zahl von einer Handvoll auf 8 Milliarden angewachsen ist, wie es mit dem erodierten irdischen Kapital weiter verfahren soll. Dieser Atlas zeigt die verschiedenen Stadien dieser Entwicklung.

Alle historischen Darstellungen – darunter auch Geschichtsatlanten – können die Vergangenheit immer nur von der Gegenwart aus betrachten, aus der Zeit heraus und von dem Ort aus, wann und wo sie entstanden sind. Die Abbildung auf Seite 16/17 in diesem Atlas, mit der wir (fast) bis zum Urknall zurückgehen, ist gleichsam eine Metapher für das gesamte Buch. Auf ihr sind die zeitlichen Stadien der Geschichte des Universums gleichzeitig zu sehen. Die Reihenfolge all dieser Prozesse ist nur insofern eine Aufeinanderfolge, als diese nach ihren jeweiligen Anfängen chronologisch geordnet sind: Die Landwirtschaft setzte natürlich erst lange Zeit nach der Entstehung der Plattentektonik ein, und dennoch ernten wir unser Getreide auf Erdplatten, die sich weiterhin bewegen. Das Ende aller dieser Entwicklungen liegt jedoch in der Zukunft und kann daher nur hypothetisch beschrieben werden. Dadurch, dass auf den thematischen Doppelseiten jeweils auf andere Seiten verwiesen wird («Siehe auch» auf der rechten Seite oben), entstehen vertikale Durchbrüche, die die verschiedenen Schichten miteinander verbinden, Geologie und Industrie, Meeresströmungen und Kolonialisierung ...

Im Vergleich zu den beiden anderen Atlanten, die unser Team (das erweitert wurde, um das gesamte Spektrum der Wissenschaften von der Erde und ihren Bewohnern abzudecken) bereits publiziert hat, ist dieses Werk etwas Neues. Das werden Sie sofort erkennen, wenn Sie ein bisschen darin blättern, es gibt nämlich Doppelseiten mit dunklem Hintergrund, die zwischen die Darstellungen mit weißem Hintergrund eingeschoben sind. Hier werden historische Augenblicke der Wissenschaften vorgestellt. Das geophysische und biologische Wissen, aber auch das Wissen über vergangene Gesell-

## 10 Einleitung

schaften sind menschliche Konstrukte, die es ins Verhältnis zueinander zu setzen gilt. Vor allem da die Schwerpunkte, die wir auf diesen schwarzen Seiten gesetzt haben, auf beispielhafte Weise zeitgenössische gesellschaftliche Themen betreffen, die ein Nachhall von Fragestellungen der Vergangenheit sind.

### **Ein Atlas mit enzyklopädischem Anspruch für die heutige Zeit**



















Das Besondere an unserer Vorgehensweise ist die Verschränkung verschiedener Zeitabschnitte. Es gibt hervorragende Atlanten zur aktuellen Umweltkrise und wunderschöne Darstellungen der Geschichte der Geologie oder Biologie. Viel seltener findet man dagegen Bücher, die den heutigen Debatten und Herausforderungen eine historische Tiefe verleihen, und noch viel seltener geschieht dies mit den Mitteln der Geografie. Dennoch werden die älteren Leserinnen und Leser unter Ihnen vielleicht eine Art Déjàvu erleben, wie ein Biss in eine Proust'sche Madeleine. Denn tatsächlich haben die Enzyklopädien lange Zeit versucht, alle Bereiche des konkreten Wissens abzubilden, von der Geologie bis hin zur Technik. Man fand darin Tiefseegräben ebenso wie Dampfmaschinen, Stammbäume von Pflanzen ebenso wie Querschnitte von Atomreaktoren. Die Zersplitterung der Wissensgebiete und ihrer Darstellung trägt leider nicht dazu bei, dass wir die Komplexität der heutigen Probleme besser begreifen, und sie hilft uns auch nicht, einen Standpunkt zu beziehen oder Entscheidungen zu treffen. Der Versuch, eine möglichst allumfassende und zugleich offene Perspektive einzunehmen, gleicht insofern der Neugierde eines Kindes (zwischen 7 und 100 Jahren), die noch nicht von den Grenzen der wissenschaftlichen Disziplinen eingengt ist, und antwortet damit auf die Fragen der Weltbürgerinnen und Weltbürger (derselben Altersgruppe).

Wir dürfen uns also brüsten, mit diesem Ansatz dem enzyklopädischen Verständnis des 18. Jahrhunderts zu folgen, wobei wir es aber zugleich ganz und gar zeitgenössisch interpretieren – ja, sogar mit diesem Vermächtnis brechen. Vor ein

paar Jahrzehnten hätte dieses Werk vielleicht «Atlas vom Menschen und der Natur» geheißen. Aber bitte erwarten Sie nicht, dass auf den folgenden Seiten von dieser Dichotomie die Rede sein wird – abgesehen von der Doppelseite zur Geschichte der Wissenschaften (siehe S. 218), auf der die Trennung von Mensch und Natur in die Geschichte und Geografie des Denkens eingeordnet wird. Ansonsten wird hier die biophysische Welt, vom intergalaktischen Raum bis hin zu den Atomen, nirgends «Natur» genannt, da der Mensch immer Teil des Lebens auf diesem Planeten ist, ein Tier unter Tieren.

### **Ohne Nostalgie oder futuristische Illusionen**

Die Enzyklopädisten des 18. Jahrhunderts hätten unser Projekt, ohne zu zögern, mit einer guten Portion Fortschrittsgläubigkeit angegangen. Diese Herangehensweise hielt sich bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts. Heute hingegen kann die herrschende Umweltangst dazu führen, dass ähnlich lineare Erzählungen unter umgekehrten Vorzeichen geschrieben werden: Das Goldene Zeitalter liegt dann nicht mehr in einer strahlenden Zukunft, in der sich der Mensch zum Schöpfergott aufschwingt, sondern in der Altsteinzeit, die zur Projektionsfläche für verloren geglaubte Tugenden wird. *Die Geschichte der Erde* folgt keinem dieser beiden Wege. Unser Routenplaner für dieses Buch hatte das Ziel, Prozesse zu betrachten, die, wenn sie einsetzen, weitreichende Folgen haben. So verhält es sich zum Beispiel in den ersten Kapiteln des Buches zur Biophysik – das System Erde, die Evolution des Lebens – oder auch bei den Prozessen, die der Mensch in Gang gesetzt hat und die auf Dauer den Planeten überlasten – Landwirtschaft, demografische Entwicklung, Globalisierung, Industrie. Alle diese Prozesse betrachten wir ohne Nostalgie oder futuristische Illusionen. Sie werden in diesem Buch weder von einer Menschheit hören, die von fortwährendem Fortschritt motiviert ist, noch von einer Welt, die blind in ihr Verderben rennt. Wir geben Ihnen Darstellungen an die Hand, die Ihnen die Dynamiken der Erde begreiflich machen sollen und sie über große

Entstehung und Beginn:	vor:	Wenn die Geschichte des Universums nur einen Tag lang wäre (24 Stunden)	Kapitel: Stadien der Vergangenheit, die sich wie Schichten übereinanderlegen
des Universums 	13,8 Milliarden Jahren	<b>Erster Tag</b> um 00:00 Uhr 	1. Vom Urknall zum Planeten Erde
der Erde 	4,5 Milliarden Jahren	um 16:11 Uhr 	2. Vom Kern zur Stratosphäre
des Lebens 	3 Milliarden Jahren	um 17:55 Uhr 	3. Planet des Lebens
der Menschen 	7 Millionen Jahren	um 23:59:59 Uhr 	4. Ein Tier unter Tieren: der Mensch
der Landwirtschaft 	12 000 Jahren	nach 23:59:59 Uhr 	5. Domestizierung
zahlreicher Gesellschaften und Kulturen 	6000 Jahren	nach 23:59:59 Uhr 	6. Die Ära der Landwirtschaft
der Globalisierung 	500 Jahren	nach 23:59:59 Uhr 	7. Die Globalisierung der Ressourcen
der Industrie 	250 Jahren	nach 23:59:59 Uhr 	8. Das Kohlezeitalter
der Fürsorge für die Erde 	50 Jahren	nach 23:59:59 Uhr 	9. Der überlastete Planet
des Endes des Planeten Erde	in 10 Milliarden Jahren	<b>Zweiter Tag</b> um 17:24 Uhr, also 41 Std. und 24 Min. nach dem Urknall	

Die zeitlichen Angaben zur frühen Geschichte der Erde und der Menschen sind hier und in den folgenden Kapiteln Richtwerte.

Zeiträume hinweg nachzeichnen. Damit betreiben wir einen Kampf gegen den Gedächtnisschwund: Die verschiedenen Vergangenheiten lassen sich nur in ihrer Zusammensicht verstehen. Unsere Gegenwart ist zugleich Milliarden Jahre und wenige Jahrhunderte alt.

Wenn Sie auf dieser Reise von Sternen oder Ameisen, von El Niño oder der Erfindung von Pressglas, von der Suche nach Eldorado oder der Zerstörung von Saint-Pierre auf Martinique durch den Vulkan Montagne Pelée, vom Stamm der Stachelhäuter oder der Zeichnung der Dampf-

maschine träumen (oder abträumen), so ergeben diese Bilder vom Planeten der Menschen nur deshalb Sinn, weil sich alle diese Splitter zu einem Bild im Kaleidoskop zusammenfügen. *Menschliches, Allzumenschliches* heißt ein Buch von Friedrich Nietzsche. Die miteinander verflochtenen Geschichten von der Erde in diesem Atlas zeigen uns verschiedene Horizonte auf und erinnern uns an unsere Verantwortung als Menschen auf diesem Planeten.

**Christian Grataloup**



# 1

## Vom Urknall zum Planeten Erde

(seit 13,8 Milliarden Jahren)

Seit dem Urknall vor 13,8 Milliarden Jahren dehnt sich das Universum aus.

Derzeit gibt es noch keine wissenschaftlichen Erkenntnisse darüber, ob das Universum endlich oder unendlich ist.

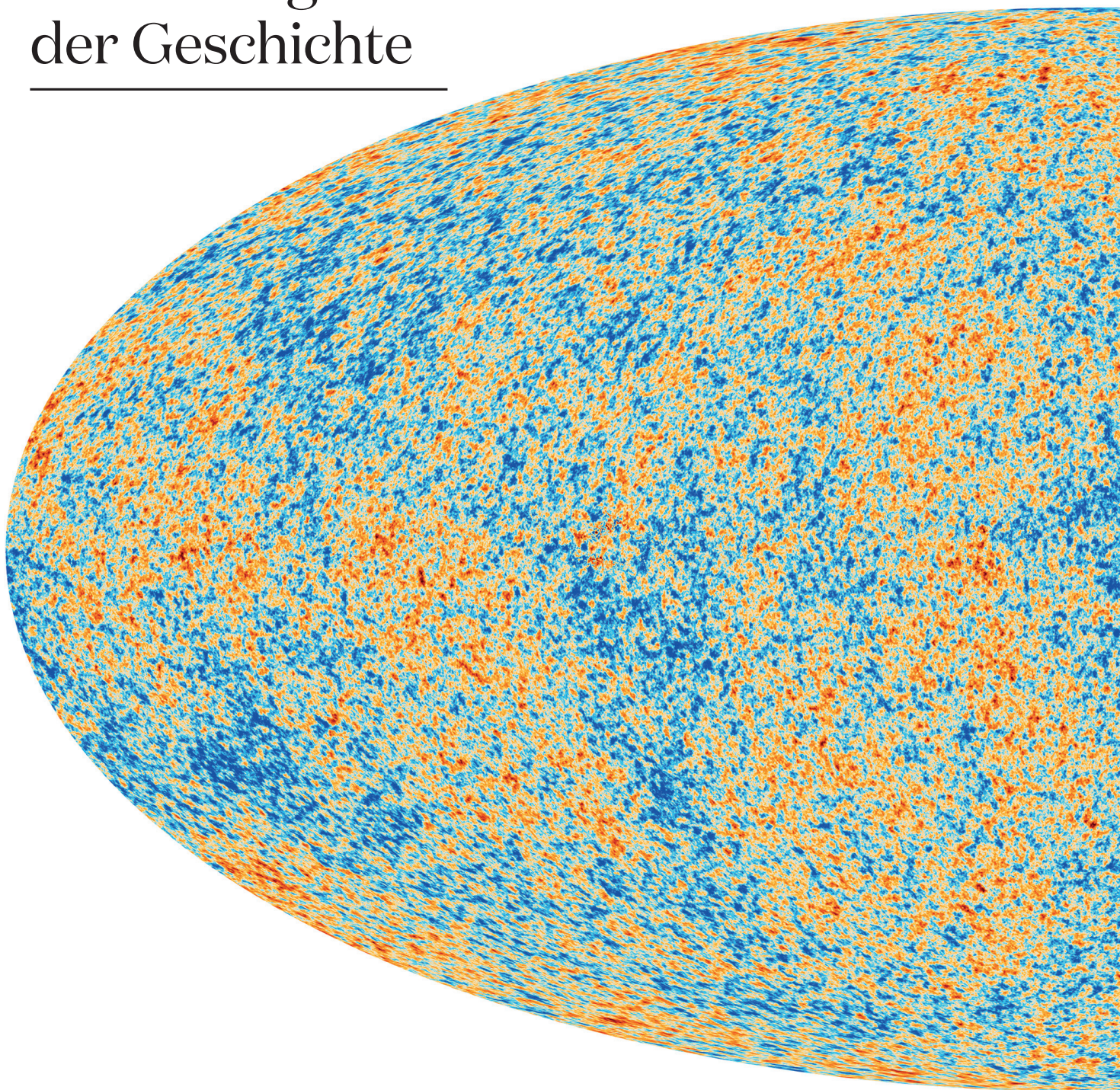
Es umfasst vermutlich 2000 Milliarden Galaxien, darunter die Milchstraße.

Diese spiralförmige Galaxie ist etwa 100 000 Lichtjahre lang und enthält 100 bis 400 Milliarden Sterne. Dazu gehört auch die Sonne, um die sich unser Planet, die Erde, dreht.

---

# Am Anfang der Geschichte

---

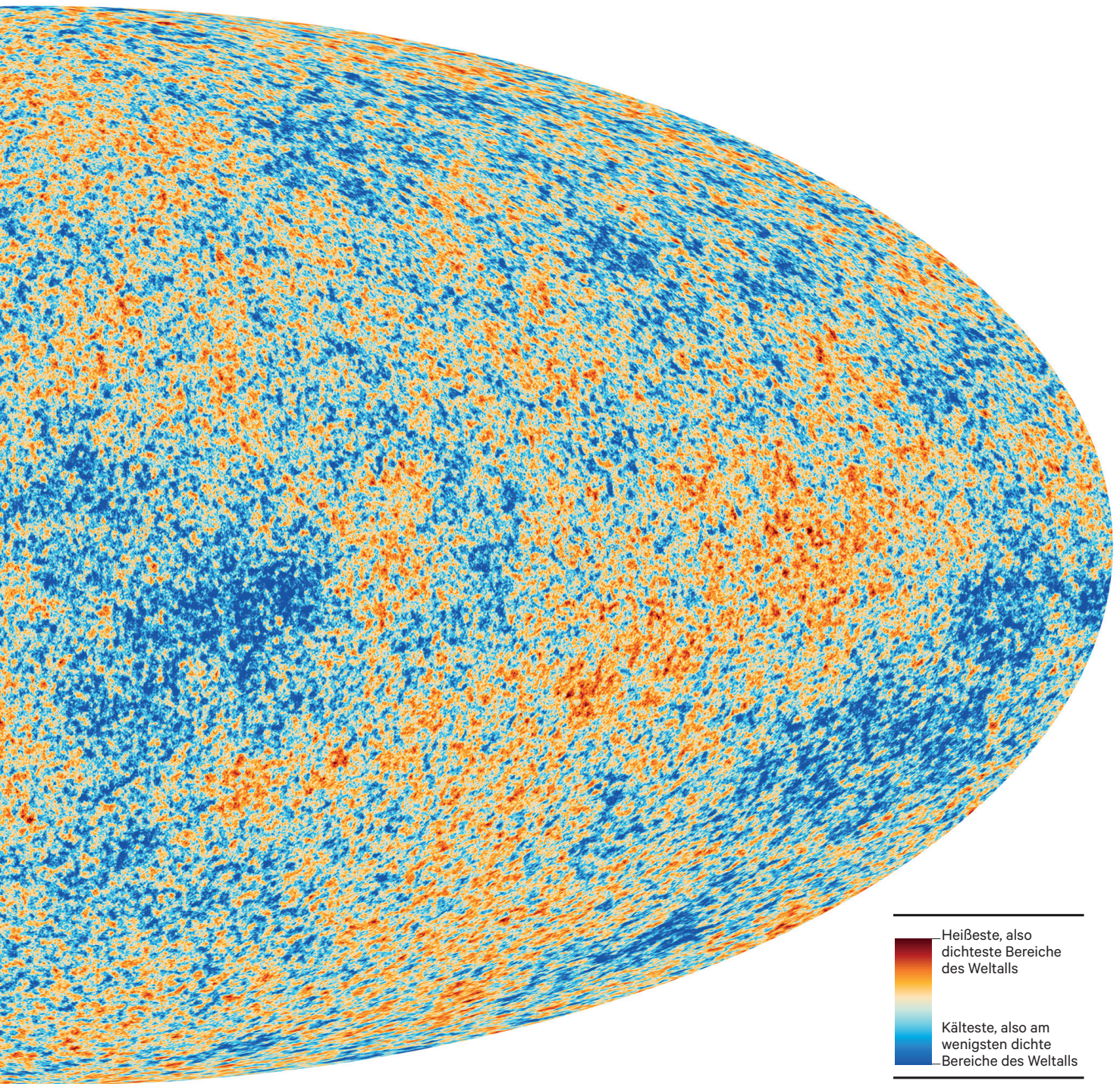


---

## Das älteste Bild unseres Universums

Dieses Bild ist das erste «Foto» des Universums, das zu diesem Zeitpunkt 380 000 Jahre alt ist, aufgenommen vom Planck-Weltraumteleskop. Zu sehen ist hier die kosmische Hintergrundstrahlung, es handelt sich gleichsam um eine Momentaufnahme vom ältesten Licht des Kosmos. Wie bei einer Erdkarte, die keine präzise Darstellung der Erde ist, sehen wir auch hier nicht

die tatsächliche Form des Universums. Es ist eigentlich eine Kugel. Die verschiedenen Farbtöne stellen winzige Temperaturschwankungen in der Strahlung dar und stehen für Bereiche mit unterschiedlicher Dichte. Damit zeichnen sich hier schon die zukünftigen Strukturen des Universums ab, die heutigen Sterne und Galaxien.

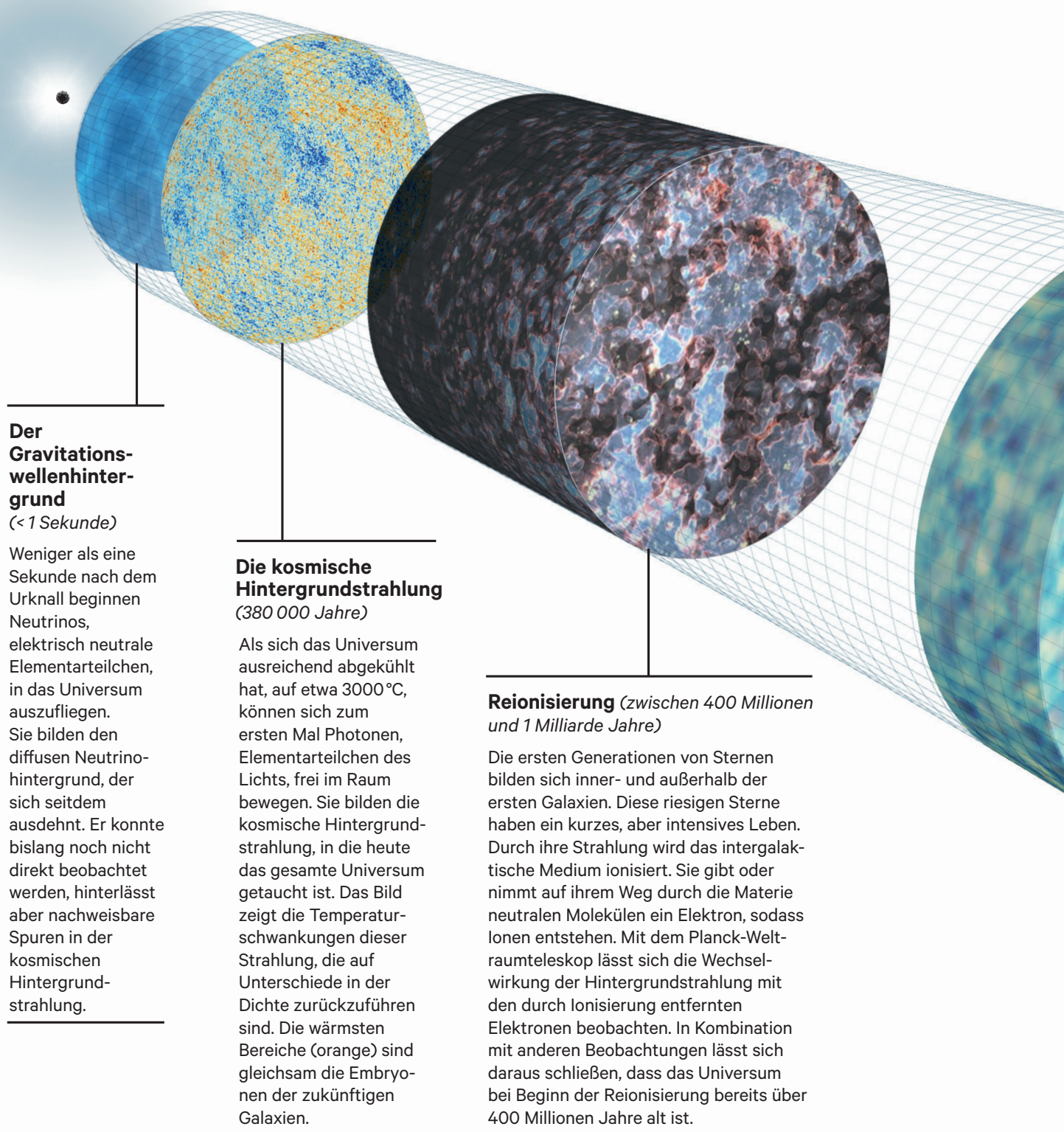


Die kosmische Hintergrundstrahlung gibt uns Auskunft über die Struktur, das Alter und die Entwicklung des Universums. Vor deren Entstehung ist das Universum klein, dicht und heiß, das Licht ist darin eingeschlossen. Etwa 380 000 Jahre nach dem Urknall wird Licht freigesetzt, wodurch die Hintergrundstrahlung entsteht, die eine Temperatur von etwa 3000 °C hat. Während sich das

Universum ausdehnt, wird diese Strahlung immer schwächer und kälter. Inzwischen beträgt ihre Durchschnittstemperatur nach der Messung durch das Planck-Weltraumteleskop ungefähr  $-270$  °C. Das Universum selbst ist 13,8 Milliarden Jahre alt und dehnt sich mit einer Geschwindigkeit von 67 Kilometern pro Sekunde pro Megaparsec aus (1 Megaparsec sind 3,26 Millionen Lichtjahre).



# Eine kurze Geschichte des Universums



**Der Gravitationswellenhintergrund**  
(*< 1 Sekunde*)

Weniger als eine Sekunde nach dem Urknall beginnen Neutrinos, elektrisch neutrale Elementarteilchen, in das Universum auszufliegen. Sie bilden den diffusen Neutrino-hintergrund, der sich seitdem ausdehnt. Er konnte bislang noch nicht direkt beobachtet werden, hinterlässt aber nachweisbare Spuren in der kosmischen Hintergrundstrahlung.

**Die kosmische Hintergrundstrahlung**  
(*380 000 Jahre*)

Als sich das Universum ausreichend abgekühlt hat, auf etwa 3000°C, können sich zum ersten Mal Photonen, Elementarteilchen des Lichts, frei im Raum bewegen. Sie bilden die kosmische Hintergrundstrahlung, in die heute das gesamte Universum getaucht ist. Das Bild zeigt die Temperaturschwankungen dieser Strahlung, die auf Unterschiede in der Dichte zurückzuführen sind. Die wärmsten Bereiche (orange) sind gleichsam die Embryonen der zukünftigen Galaxien.

**Reionisierung** (*zwischen 400 Millionen und 1 Milliarde Jahre*)

Die ersten Generationen von Sternen bilden sich inner- und außerhalb der ersten Galaxien. Diese riesigen Sterne haben ein kurzes, aber intensives Leben. Durch ihre Strahlung wird das intergalaktische Medium ionisiert. Sie gibt oder nimmt auf ihrem Weg durch die Materie neutralen Molekülen ein Elektron, sodass Ionen entstehen. Mit dem Planck-Weltraumteleskop lässt sich die Wechselwirkung der Hintergrundstrahlung mit den durch Ionisierung entfernten Elektronen beobachten. In Kombination mit anderen Beobachtungen lässt sich daraus schließen, dass das Universum bei Beginn der Reionisierung bereits über 400 Millionen Jahre alt ist.

### Materieverteilung

(ca. 3 Milliarden Jahre)

Die gesamte Materie des Universums (die normale Materie und die Dunkle Materie) deformiert auf ihrer Reise zu uns durch ihre Schwerkraft die kosmische Hintergrundstrahlung. Die heute zu beobachtenden Deformationen entstehen vor allem durch Strukturen, die erst 3 Milliarden Jahre nach dem Urknall existieren.

### Neue Galaxienhaufen

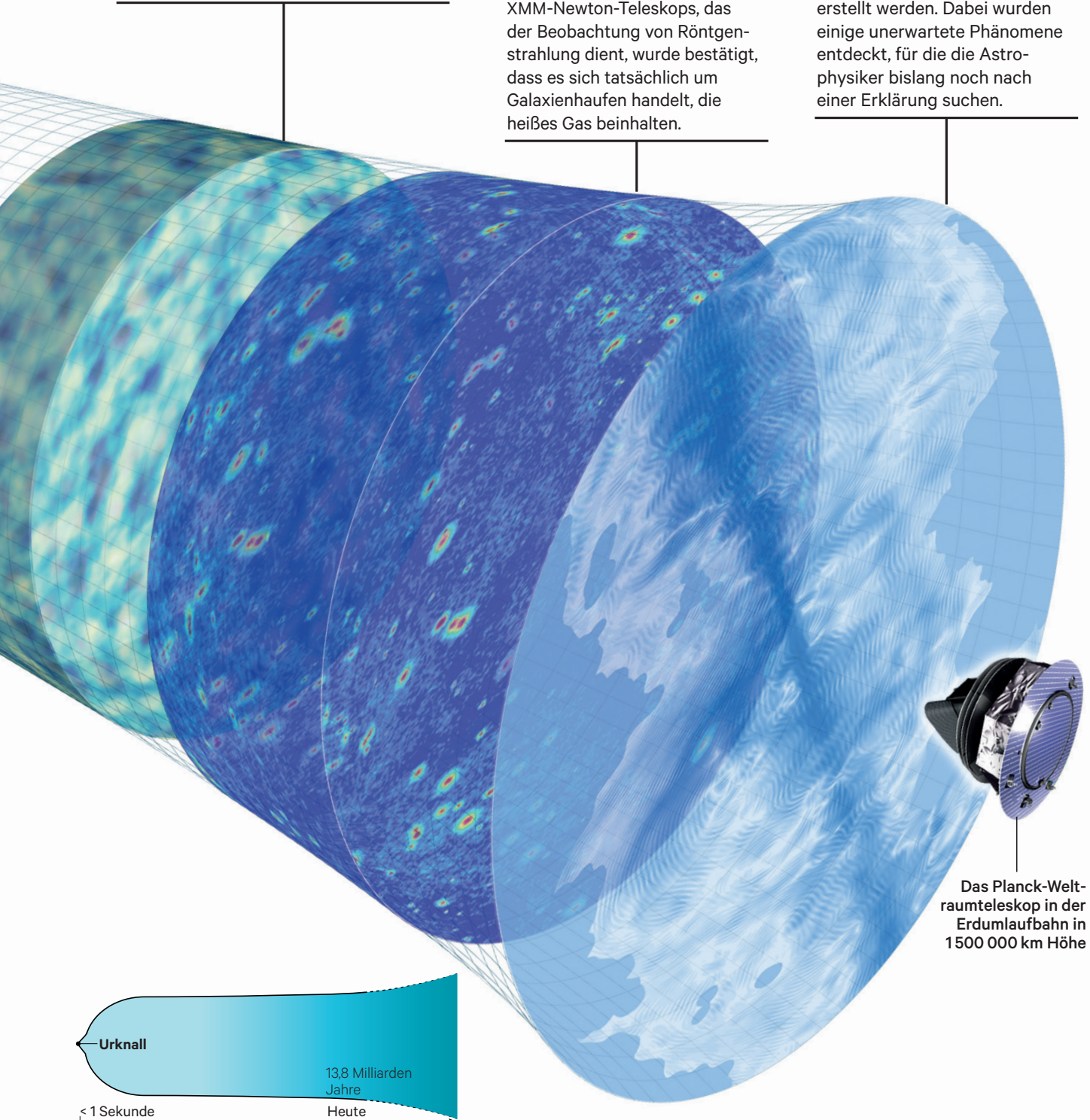
(ca. 6 Milliarden Jahre)

Das Licht der kosmischen Hintergrundstrahlung wird von einem heißen Gas ausgestrahlt, das sich in den Galaxienhaufen befindet. Dank dieser Verzerrung konnte das Planck-Weltraumteleskop die Galaxienhaufen entdecken (rote Punkte), darunter einige bislang unbekannte. Mithilfe des XMM-Newton-Teleskops, das der Beobachtung von Röntgenstrahlung dient, wurde bestätigt, dass es sich tatsächlich um Galaxienhaufen handelt, die heißes Gas beinhalten.

### Das galaktische Magnetfeld

(ca. 13,8 Milliarden Jahre)

Der Staub des interstellaren Mediums liegt entlang dem galaktischen Magnetfeld. Durch die Analyse des davon ausgestrahlten Lichts konnte mit dem Planck-Weltraumteleskop eine Karte des derzeitigen Magnetfelds der Milchstraße erstellt werden. Dabei wurden einige unerwartete Phänomene entdeckt, für die die Astrophysiker bislang noch nach einer Erklärung suchen.



Das Planck-Weltraumteleskop in der Erdumlaufbahn in 1500 000 km Höhe

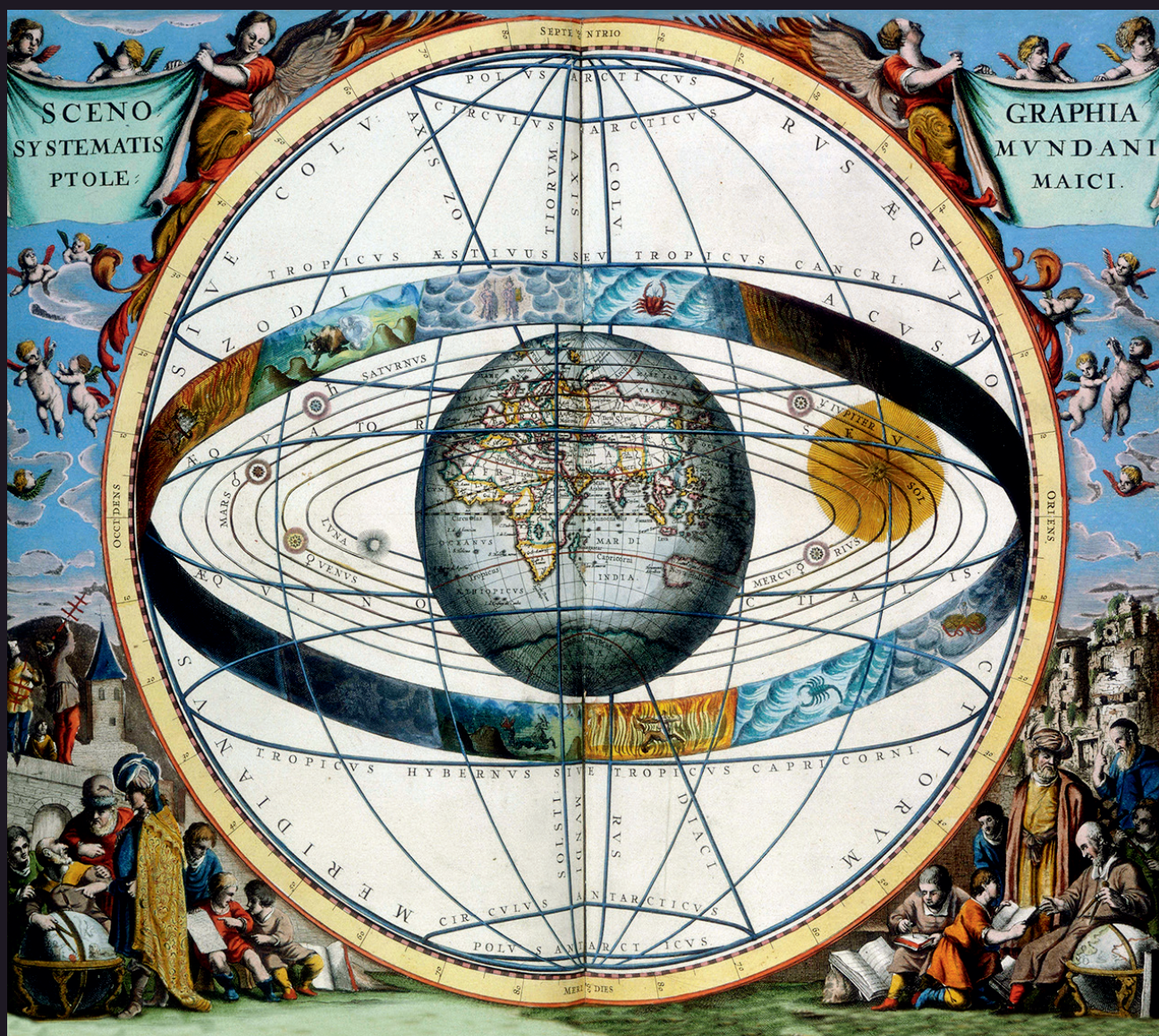
Urknall

13,8 Milliarden Jahre

< 1 Sekunde

Heute

# Vom Geozentrismus zur Gravitation



## Ptolemäus: die Erde im Mittelpunkt

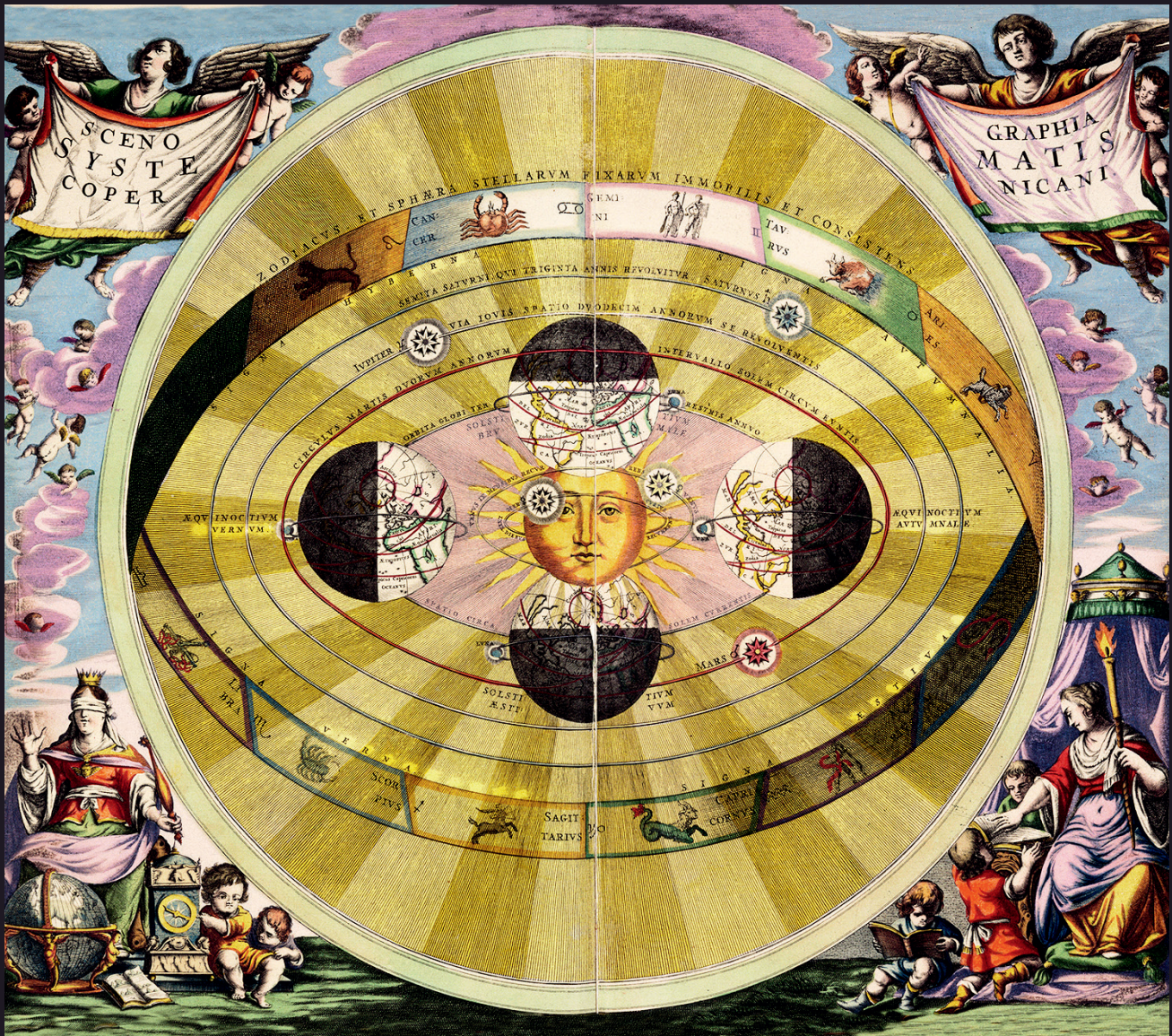
Bis ins 16. Jahrhundert herrschte in der europäischen Astronomie das geozentrische Weltbild vor, das intuitiv richtig schien und der Bibel entsprach. Diese Himmelskarte von 1660 aus dem *Himmelsatlas* von Cellarius zeigt das System, das Ptolemäus um 150 unserer Zeitrechnung im *Almagest* ausgearbeitet hat. Im geozentrischen Weltbild – das schon Aristoteles vertritt (4. Jahrhundert v. u. Z.) und das die islamischen Astronomen Nasir al-Din al-Tusi (1201–1274) und Ibn al-Shatir

(1304–1375) im Mittelalter weiterentwickeln – ist der Himmel eine riesige Sphäre, die sich um eine Achse dreht, in deren Mittelpunkt die Erde liegt. Die Planeten – wozu im damaligen Sinn auch Sonne und Mond gehören, die Erde indes nicht – kreisen um die unbewegliche Erde. Manche vollführen dabei zusätzliche Bewegungen, was ihren komplexen Lauf erklärt. Die Jahreszeiten und die Länge von Jahren und Tagen entstehen damit durch Bewegungen jenseits der Erde.

## Was die Bibel sagt:

«Damals redete Josua mit dem HERRN an dem Tage, da der HERR die Amoriter vor den Israeliten dahingab, und er sprach in Gegenwart Israels: Sonne, steh still zu Gibeon, und Mond, im Tal Ajalon! Da stand die Sonne still und der Mond blieb stehen, bis sich das Volk an seinen Feinden gerächt hatte. Ist dies nicht geschrieben im Buch des Redlichen? So blieb die Sonne stehen mitten am Himmel und beeilte sich nicht unterzugehen fast einen ganzen Tag.»

Altes Testament, Buch Josua 10, 12–13.



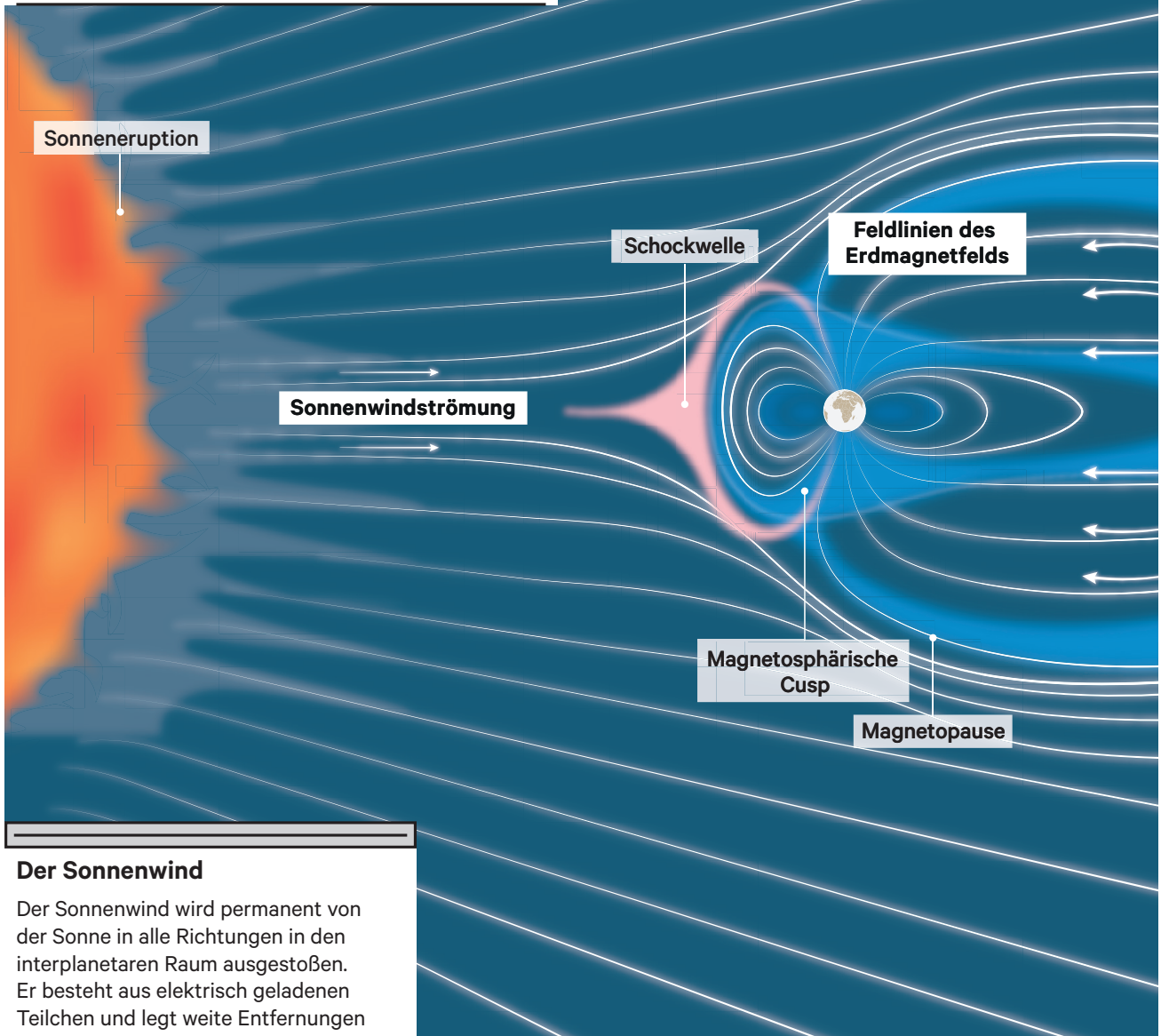
## Zwei Revolutionen: Kopernikus und Newton

Diese Himmelskarte, ebenfalls aus dem *Himmelsatlas* von 1660, zeigt das heliozentrische Modell: die Sonne als Mittelpunkt des Universums. Kopernikus hat dieses System in *De revolutionibus orbium coelestium* («Über die Umlaufbahnen der Himmelsphären») von 1543 mathematisch beschrieben. Darin behauptet er, die Erde drehe sich um die eigene Achse und bewege sich um die Sonne, ohne jedoch einen Beweis vorzulegen. Johannes Kepler schließlich beweist, dass die Umlaufbahnen der Planeten nicht kreisförmig, sondern elliptisch

sind und die Planeten sich nach mathematischen Regeln bewegen (die drei Keplerschen Gesetze von 1609 und 1619). Luther verwirft diese neue Theorie schon 1539, noch vor dem Erscheinen von Kopernikus Buch. Josua habe der Sonne nur befehlen können, stehen zu bleiben, wenn sie sich zuvor bewegt habe. Die katholische Kirche indiziert das Werk aber erst 1616, nachdem Galileo 1613 durch Beobachtungen mit dem Fernglas erkannt hatte, dass das heliozentrische Weltbild plausibel ist. Die Veröffentlichung seines *Dialogs über die zwei großen Welt-*

*systeme* (1632) führt dazu, dass ihn die Kirche 1633 nötigt, seiner Theorie abzuschwören. Der berühmte Ausspruch «*Eppur si muove!*» («Und sie bewegt sich doch!») ist aber wohl apokryph. 1687 formuliert Isaac Newton sein Gravitationsgesetz, das heute zusammen mit den Keplerschen Gesetzen genügt, um die Bewegung der Sterne in einem Raum wie dem Sonnensystem zu erklären. Aber erst 1727 beweist James Bradley als Erster per Experiment, dass die Erde um die Sonne kreist. 1757 hebt die Kirche ihren Bann der Verbreitung des heliozentrischen Weltbilds auf.

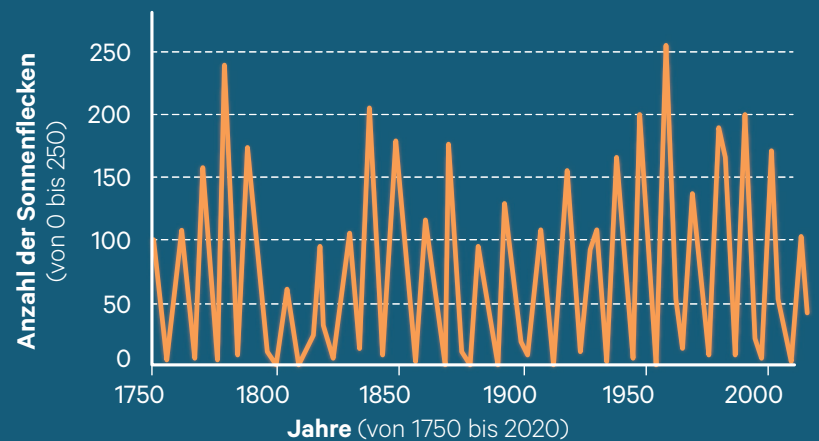
# Die Solarenergie

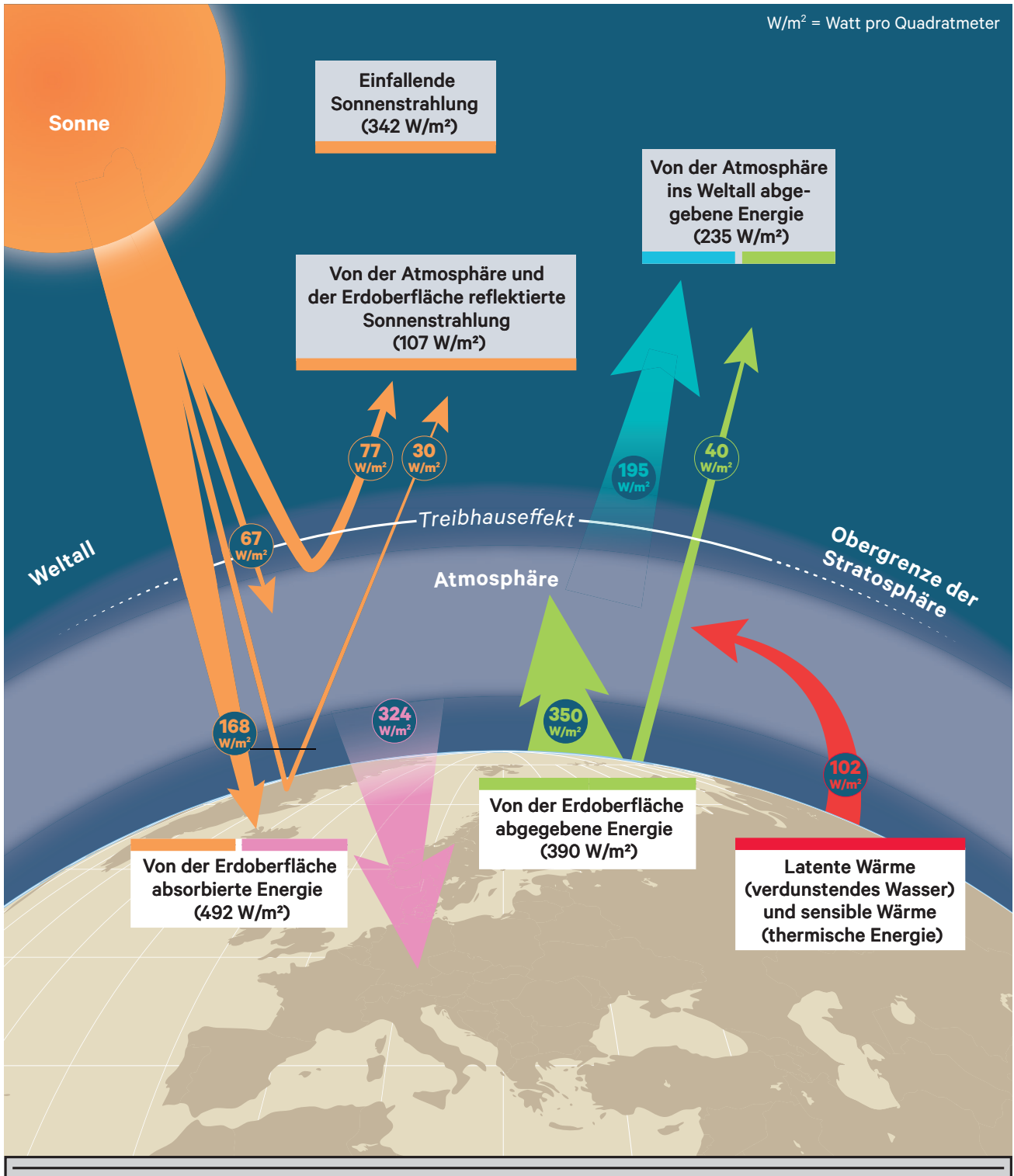


## Der Sonnenwind

Der Sonnenwind wird permanent von der Sonne in alle Richtungen in den interplanetaren Raum ausgestoßen. Er besteht aus elektrisch geladenen Teilchen und legt weite Entfernungen zurück, je nach Windart mit einer Geschwindigkeit von 200 bis 800 Kilometern pro Sekunde. Bei einer Sonneneruption wird dieser Teilchenfluss stärker. Die Erde besitzt ein Schutzschild gegen diesen Wind. Das vom Erdkern gebildete Erdmagnetfeld lenkt die Teilchen ab, wodurch eine Art Grenze entsteht, die «Magnetopause». Bei besonders starker Sonnenaktivität – ersichtlich an den vielen Flecken auf der Sonnenoberfläche – dringen Teilchen in die Erdatmosphäre ein. Das ist das Polarlicht, das in hohen Breitengraden zu sehen ist. Es kommt unter anderem auch bei den Planeten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun vor, die ebenfalls ein Magnetfeld haben.

Veränderung der Sonnenstrahlung





Mehr Informationen zu [diesem](#) und vielen weiteren Büchern aus dem Verlag C.H.Beck finden Sie unter: [www.chbeck.de](http://www.chbeck.de)