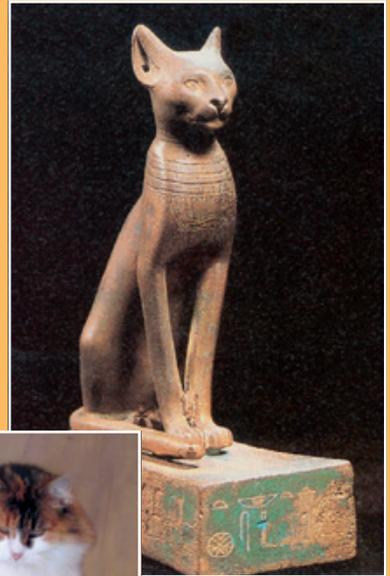


Erlebniswelt Naturwissenschaften

Moleküle · Zellen · Pflanzen · Tiere · Menschen

Manfred Reitz



EDITIO CANTOR VERLAG

Erlebniswelt Naturwissenschaften

Moleküle · Zellen · Pflanzen · Tiere · Menschen

Manfred Reitz



Editio Cantor Verlag Aulendorf

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
Moleküle	
Das anthropische Prinzip	11
Die RNA-Welt	16
Die Protein-Welt	21
Silizium-Leben	27
Titan – eine biochemische Hexenküche	32
Die Evolution im Reagenzglas	37
Protein-Design	42
Das Kohlenstoffrätsel	47
Die Schönheit der Moleküle	52
Arzneimittel der frühen Antike	57
Arzneimittel im alten China	62
Zellen	
Ewige Zellteilung	69
Leben und Sterben im Organismus	74
Sind Stammzellen unsterblich?	79
Altern und Mitochondrien	84
Molekulare Motoren	89
Zelluläre Fräsanlagen	94
Festung Tumor	100
Das Y-Chromosom	105
Aarons Chromosom	111
Elektromagnetische Felder und Zellen	117
Die Zellen der Augenlinse	122
Pflanzen	
Methanogene Mikroorganismen und Erdklima	129
Biofilme	135
Pilze als Raubtiere	140
Im Wein liegt das Klima	145
Aromastoffe des Weines	150
Wein und Gesundheit	155
Pflanze mit Wärmestube	161

Alarmstoffe der Pflanzen	166
Verletzte Pflanzen	172
Sekundäre Pflanzenstoffe – oder das Geheimnis der blauen Berge	177
Kulturpflanzen und Entdeckungsreisen	183

Tiere

Mechanismen der Artbildung	191
Lebensfülle im tropischen Regenwald	196
Lebensgemeinschaft Pansen	202
Die biologische Artillerie	207
Der magnetische Sinn	212
Giftige Säugetiere	217
Fliegende Tiere	222
Die Physiologie des Tauchens	228
Der Prozess des Riechens	234
Der Kopf des Pottwals	240
Kriminologie und Insekten	245
Lebensraum Mensch	250
Katzen als Zeugen der Geschichte	255
Dinosaurioide / Wenn die Saurier nicht ausgestorben wären	261
Die Wasseraffen-Theorie	267

Menschen

Evolutionsmedizin	275
Nachteile des aufrechten Ganges	280
Neandertaler und die DNA	285
Die Sprache der Knochenfunde	290
DNA und menschliche Wanderwege	295
Die Biologie der Venus von Willendorf	301
Das Rätsel der Menopause	306
Leben in der Kälte	311
Anpassungen an die Hitze	316
Wunderwerk Hand	322
Gescheckte Menschen	328
Menschen mit zwei Köpfen	334
Ernährung und langes Leben	339
Alterskalender Haut	344
Die Hundertjährigen	350

Über den Autor	356
-----------------------	------------

Vorwort

Forschung und Wissenschaft benötigen Neugier, denn ohne eine gehörige Portion dieser Eigenschaft würde nicht nur der Einzelne, sondern auch die Gesellschaft auf der Stelle treten und den Alltag langweilig finden. Neugier macht Probleme deutlich, packt sie an und ebnet dabei gleichzeitig jene Hindernisse ein, die diesen Problemen im Wege stehen. Insbesondere Forscher müssen neugierig sein, denn erst Neugier schafft Wissen. Kleine Kinder können oft als fähige Forscher gelten. Ihre natürliche Neugier erscheint ungebremst. Häufig werden sie geradezu angetrieben, ihre Umwelt zu ergründen und die Kenntnisse der Erwachsenen mit zahllosen Fragen auf die Probe zu stellen. Leider geht mit dem fortschreitenden Lebensalter diese Neugier meistens verloren. Ähnlich wie Künstler müssen auch Forscher versuchen, die natürliche Neugier ihrer Kindheit in die Welt der Erwachsenen hinüberzuretten.

Das vorliegende Buch ist als eine Anthologie angelegt und will in Leserinnen und Lesern auf vielfältige Gebiete der Biowissenschaften und der Medizin die Neugier wecken; es handelt sich um eine Neugier auf Wissen. Zahlreiche kleine Beiträge, die alle unabhängig voneinander gelesen werden können, sollen zunächst zum Staunen anregen und anschließend jenen, von der Neugier getragenen, inneren Mechanismus aktivieren, der die Leserschaft auffordert, nicht nur bei dem dargelegten Thema zu bleiben, sondern vielleicht auch das eigene Wissen über das Thema hinaus noch weiter zu vertiefen.

Die Beiträge stammen aus der Kolumne „Aus Wissenschaft und Forschung“, die seit vielen Jahren monatlich der Leserschaft der Zeitschrift „die pharmazeutische industrie – pharmind[®]“, angeboten wird. Unter den Themenschwerpunkten „Moleküle · Zellen · Pflanzen · Tiere · Menschen“ werden die Beiträge grob sortiert. Damit wird jener Weg beschritten, den pharmazeutische Wirkstoffe bis zu ihrem Einsatz beim Patienten durchlaufen.

Früher, als die Therapie eines Patienten noch überwiegend auf den Erfahrungen seiner Ärzte beruhte, begann dieser Weg zumeist beim Menschen. Aus Beobachtungen und Erfahrungen mit vergleichbaren Patienten wusste der Arzt, welche Wirkstoffe einen therapeutischen Erfolg versprachen. Diese Wirkstoffe, die meist aus Pflanzen oder Tieren stammten, setzte er ein und hoffte auf eine Besserung. Mit dem Fortschreiten der Wissenschaften konnten die Wirkungsmechanismen der eingesetzten Wirkstoffe immer genauer untersucht werden. Sie wurden an ausgewählten Organismen und Zellen weiter getestet, und zuletzt konnten sogar die „heilenden Moleküle“ identifiziert werden. Von nun an war bei der Suche nach Arzneimitteln auch ein umgekehrter Weg möglich; Erfahrungen wurden nicht nur ausschließlich am Patienten, sondern in zusätzlichen Experimenten auch außerhalb des Patienten gesammelt. Nachgewiesene „heilende Moleküle“ wurden und werden auch heute noch chemisch modifiziert, um ihre Wirkungen immer weiter zu verbessern. Alle neuen Wirkstoffe werden bei den Untersuchungen einem Prüfungsschema unterworfen. Sie werden zuerst an Zellkulturen und in Organismen analysiert, um Haupt- und Nebenwirkungen zu verstehen. Erst wenn alle Befunde zufriedenstellend sind, können Wirkstoffe am Menschen geprüft und schließlich den Patienten routinemäßig verschrieben werden.

Heute nun ist die Wissenschaft so weit fortgeschritten, dass Forscher für eine Therapie sogar Moleküle erschaffen können, die es in der Natur überhaupt nicht gibt, deren Struktur jedoch eine „heilende Wirkung“ verspricht. Diese neuartigen Moleküle werden dann in größeren Mengen synthetisiert, um sie in Zellkulturen und bei Organismen weiter zu testen. Ergeben sich die gewünschten Erfolge, können auch diese neuartigen Moleküle bis zum Patienten vordringen und seine Heilungsaussichten steigern.

Auf allen Stufen muss eine gehörige Portion Wissensdurst gestillt werden. Die Neugier zwingt den Forscher regelrecht dazu, Fragen zu stellen, wobei die Antwort letztlich in der Regel einen Fortschritt bedeutet, der wiederum neue Fragen aufwirft.

Mögen die Beiträge in diesem Buch nicht nur Fragen beantworten, sondern auch neue Fragen anregen und auf Wissen neugierig machen!

Mein besonderer Dank gilt dem Verlag für die sorgfältige Vorbereitung und Herausgabe des Buches.

Dr. Manfred Reitz
November 2007

Moleküle

Das anthropische Prinzip

Nicht nur das Leben, sondern auch das gesamte Universum hat spezifische Entwicklungsphasen hinter sich, und die Welt der Gegenwart stellt deshalb nichts anderes als einen Augenblickszustand dar, der sich in der Zukunft stetig weiter verändern wird. Evolutionsmechanismen gelten nicht nur für die belebte, sondern auch für die unbelebte Materie. Das Leben auf der Erde und die Existenz des Menschen können allerdings als einen Beleg dafür gesehen werden, dass die Entwicklung des Universums auf die Entstehung von Leben und sogar auf die Evolution von höheren selbstbewussten Intelligenzen hinzielte. Das anthropische Prinzip (anthropos = der Mensch) besagt, dass das Universum mit dem Menschen einen Beobachter besitzt, und dass deshalb der Entwicklungsweg des Universums genau auf die Evolution dieses Beobachters hinführen musste. Unter nahezu unendlich vielen Möglichkeiten beschritt das Universum von Anfang an genau jenen Weg, der die Entwicklung eines Beobachters ermöglichte. Über den Anteil des Zufalls und der Notwendigkeit an der Entstehung von Leben streiten sich nicht nur die Naturphilosophen und es sind noch zahlreiche Fragen offen. Dennoch ergeben sich bei einer Verknüpfung der Biologie mit allgemeinen physikalischen Gesetzen, die vordergründig fernab einer Lebensentwicklung stehen, verblüffende Erkenntnisse. Nach dem allgemein akzeptierten Wissen der Kosmologen entstand das Universum bei einem „Urknall“ vor geschätzten 15 bis 20 Milliarden Jahren. Zu dem Zustand der Welt vor einem „Urknall“ kann die Wissenschaft keine Aussagen machen. Offen sind auch noch zahlreiche Fragen zu den ersten hundertstel Sekunden nach dem „Urknall“. Sie legten den Entstehungsweg der Materie fest, obwohl erste Atomkerne erst nach etwa drei Minuten auftauchten. Trotzdem wurde gerade in dieser unglaublich kurzen Zeitspanne der Entwicklungsweg zum Leben vorgegeben. Wäre nach dem Ende der ersten Sekunde nach dem „Urknall“ die Expansionsgeschwindigkeit der sich aus Energie aufbauenden Materie nur um den Faktor 10^{-12} geringer gewesen als in der Realität, dann wäre alle Materie bereits nach einer „Existenzdauer“ von 50

Millionen Jahren durch die Gravitation wieder kollabiert. Leben hätte dabei nicht entstehen können, denn die Temperatur der Materie hätte 10 000 Grad Celsius nicht unterschritten. Bei einer nur geringfügig erhöhten Expansionsgeschwindigkeit wäre es dagegen nicht möglich gewesen, dass sich später Galaxien hätten entwickeln können. Alle Materie hätte sich zu schnell voneinander entfernt, und Konzentrationen von Materie, wie sie bei Sternen und ihren Planeten vorliegen, hätte es nie gegeben. Die Materie des Universums dehnte sich somit nach dem „Urknall“ genau mit der Geschwindigkeit aus, die ausreichte, um die Gravitation aller gebildeten Materie zu kompensieren. Fluchtgeschwindigkeit und Gravitation standen zueinander im Gleichgewicht, und es konnten, ohne dass alle Materie kollabierte, Galaxien entstehen.

Die sogenannte Gravitationskopplungskonstante von 10^{-40} stellt für ein „lebensfreundliches“ Universum einen magischen Wert dar. Wäre diese Konstante nur um eine Größenordnung höher als sie tatsächlich ist, dann hätten sich in der Hauptreihe der Sterne nur sogenannte Blaue Riesen gebildet, deren Lebensdauer für eine Lebensentwicklung auf Planeten zu kurz ist. Läge die Gravitationskopplungskonstante dagegen nur um eine Größenordnung niedriger, dann würde es in der Hauptreihe der Sterne nur sogenannte Rote Zwerge geben, deren Energieabstrahlung zur Lebensentwicklung auf Planeten nicht ausreicht. Damit sich Leben überhaupt entwickeln konnte, mussten alle Naturkonstanten des Universums einen lebensfreundlichen Wert annehmen und nach dem anthropischen Prinzip „richtig“ sein. Allein bei der Gravitationskopplungskonstante von 10^{-40} konnte sich eine große Zahl von sonnenähnlichen Sternen bilden. Diese Sterne sind für Astronomen nicht besonders spektakulär, aber sie strahlen über viele Milliarden Jahre eine relativ gleichbleibende Energiemenge ab und ermöglichen dadurch auf Planeten eine potentielle Lebensentwicklung.

Das anthropische Prinzip wurde erstmals 1961 durch Robert H. Dicke von der amerikanischen Princeton-Universität in die Kosmologie eingeführt. Angeregt durch Arbeiten von P. A. M. Dirac aus den 30er Jahren waren ihm verblüffende Wechselbeziehungen zwischen dimensionslosen Größen aus der Astrophysik aufgefallen; es handelt sich dabei um Konstanten, die keiner Maßeinheit unterliegen, sondern reine Zahlen darstellen: Die Kopplungskonstante für die Gravitation trägt die Zahl 10^{40} , für das Alter des Universums wurde in atomaren Einheiten die Zahl 10^{40} definiert (Verhältnis der Hubble-Zeit zur Zeit, die das Licht zur Überwindung eines Protonenradius benötigt) und die Zahl der Teilchen im sichtbaren Bereich des Universums beträgt 10^{80} . Es würde den Rahmen der vorliegenden Kolumne sprengen, auf die Ableitung dieser Zahlen einzugehen, dennoch verblüffen die inneren

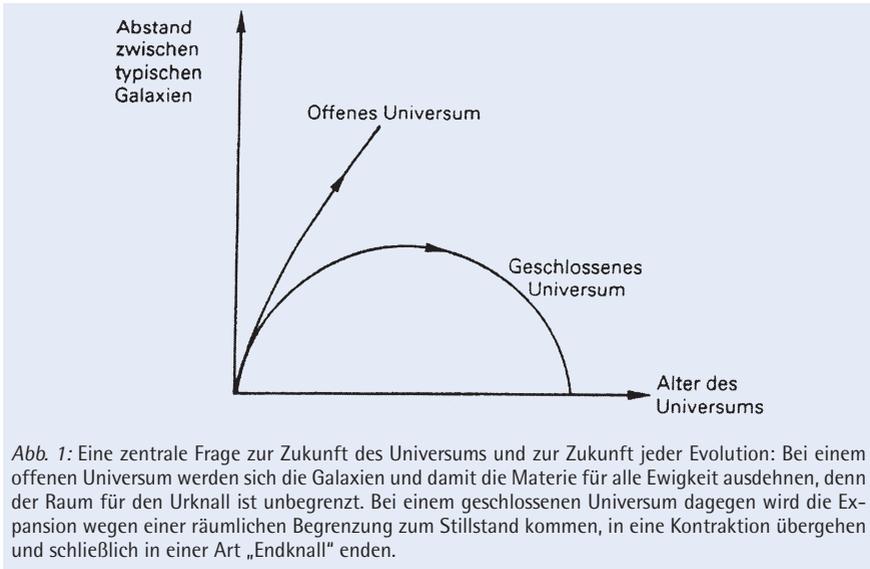


Abb. 1: Eine zentrale Frage zur Zukunft des Universums und zur Zukunft jeder Evolution: Bei einem offenen Universum werden sich die Galaxien und damit die Materie für alle Ewigkeit ausdehnen, denn der Raum für den Urknall ist unbegrenzt. Bei einem geschlossenen Universum dagegen wird die Expansion wegen einer räumlichen Begrenzung zum Stillstand kommen, in eine Kontraktion übergehen und schließlich in einer Art „Endknall“ enden.

Wechselbeziehungen von Teilchenzahl, Gravitation und Alter. Jenseits von wissenschaftlichen Denkweisen sehen manche Forscher in dieser Ordnung einen Hinweis auf einen Schöpfungsakt zur Entstehung des Universums.

Zur Zukunft des Universums sind schließlich Begrenzungen der Expansionsbewegung nach dem „Urknall“ von Bedeutung (Abb. 1). In einem geschlossenen Universum wird sich die Expansionsbewegung stetig verlangsamen, so dass in der Gegenwart für den Kosmos ein Alter von etwa 15 Milliarden Jahre angenommen werden kann. Bei einem offenen Universum dagegen hält die Expansionsbewegung für alle Ewigkeit unverändert an und das Alter des Kosmos kann deshalb auf etwa 20 Milliarden Jahre geschätzt werden.

Leben kann sich nur auf Planeten entwickeln, die in einem lebensverträglichen Abstand um eine zentrale Sonne mit einer hohen Lebensdauer kreisen. Dieser lebensverträgliche Abstand heißt Ökosphäre und beschränkt sich bei unserem Heimatstern „Sonne“ nur auf einen Streifen von etwa 10 Millionen Kilometer Breite. Nicht ganz in der Mitte dieses Streifens umkreist die Erde in einem mittleren Abstand

von etwa 149,5 Millionen Kilometer die Sonne. Hätte die Erde von der Sonne einen mittleren Abstand von 160 Millionen Kilometer, dann wäre sie vermutlich schon vor 1,7 Milliarden Jahren unumkehrbar vereist und es würde eine Situation wie auf dem Planeten Mars herrschen. Bei einem mittleren Abstand von 130 Millionen Kilometer würde auf der Erde das flüssige Wasser verdampfen, und ihr würde das Schicksal des Planeten Venus blühen. Neben dem richtigen Abstand zu seiner zentralen Sonne muss ein Planet für eine mögliche Lebensentwicklung auch die richtige Größe mitbringen. Kleine Planeten können wegen ihrer geringen Gravitation keine Atmosphäre dauerhaft festhalten und verlieren sie an den Weltraum. Hier war die Erde gerade richtig, während der Mars zu klein war und bereits vor Jahrmilliarden große Teile seiner Atmosphäre verlor und sich deshalb mögliches Leben dort nicht kontinuierlich entwickeln konnte. Bei einer wahrscheinlich nur geringfügig vergrößerten Sonne wäre außerdem der UV-Anteil in der Strahlungsenergie zu hoch und biologisch aktive Moleküle würden immer wieder zerrissen werden. Heute werden etwa 99,9 % der eingestrahnten Sonnenenergie ausgenutzt, um die mittlere Temperatur der Erdoberfläche bei etwa 20 Grad Celsius einzupendeln und nur ein äußerst geringer Rest dient dem Lebenserhalt. In der Frühzeit des Sonnensystems strahlte unsere Sonne wahrscheinlich weniger intensiv als heute. Die Atmosphäre enthielt damals allerdings viel Kohlendioxid, so dass durch den Treibhauseffekt das vorhandene Wasser dennoch flüssig blieb. Als die Strahlungsintensität der Sonne nach und nach anstieg, häuften sich die Regenaktivitäten in der Erdatmosphäre. Kohlendioxid wurde verstärkt als saurer Regen ausgewaschen und ging in die Gesteine über. Der Treibhauseffekt ließ nach, Wasser blieb weiterhin flüssig und sicherte die Lebensentwicklung. Später schuf sich das Leben selbst einen Schutzschirm. Nach der Erfindung der Photosynthese geriet freier Sauerstoff als Abfallprodukt in die Erdatmosphäre und begann sich anzureichern. Nun konnte am Rande der Atmosphäre ein Ozonschild entstehen, der bis heute für das Leben schädliche Weltraumstrahlungen abschirmt. Zur Zeit nimmt die Leuchtdichte der Sonne alle 100 Millionen Jahre etwa um 1 % zu, so dass in ferner Zukunft die Ozeane der Erde einmal verdampfen werden.

Der Planet Erde ist nach Schätzungen genau wie das Sonnensystem etwa 4,6 Milliarden Jahre alt und damit wesentlich jünger als das Universum. Die Sonne ist ein Stern der 2. Ordnung, der bei seiner Entstehung bereits Material von schon untergegangenen Sternen und nicht nur den Wasserstoff aus dem „Urknall“ verwertete. Dazu gehören beispielsweise die schweren chemischen Elemente im Material der Erde, die nur bei der Explosion einer Supernova gebildet werden konnten. Leben entstand auf der Erde eigenständig und ungewöhnlich schnell, denn erste Lebens-

spuren sind etwa 3,5 bis 3,8 Milliarden Jahre alt. Der Sprung von der unbelebten zur belebten Materie ist immer noch eines der größten Rätsel der Wissenschaft und kann nur in bescheidenen Teilen verstanden werden. Lebensfunktionen sind an Zellen gebunden, doch die erste Zelle, die sogenannte „Urzelle“, mußte bereits außergewöhnlich kompliziert und hochentwickelt gewesen sein. Sie besaß einen effektiven genetischen Code und effektive zelluläre Syntheseeinrichtungen. Kaum zu erklären ist, wie es bei den Vorläufern zur Zellentwicklung zum engen Zusammenfinden von Proteinen als Träger der Lebensfunktionen und von Nukleinsäuren als Träger der Lebensinformationen kam. Möglicherweise hatte die frühe Erde sogar erst vor 4 Milliarden Jahren die notwendige Temperatur und die stabilen Umweltbedingungen für einen Start zur Lebensentwicklung erreicht und es hätten dann nur etwa 200 Millionen Jahre bis zur Bildung der ersten Zellen zur Verfügung gestanden. Für viele Forscher ist dieser Zeitraum unverständlich und zu kurz. Nobelpreisträger Francis Crick, der Mitentdecker des genetischen Codes, vertritt sogar die These, das hoch komplexe Molekül Nukleinsäure stammte ursprünglich aus dem Weltraum und schob die Lebensentwicklung auf der Erde nur an.

Nachdem der Rubikon zum Leben auf der Erde überschritten worden war, erhielt das anthropische Prinzip einen wahrhaft gigantischen Schub. Stellt man sich den Zeitaufwand von der Entstehung der Erde bis zur Gegenwart als ein Jahr vor, dann gab es zur Entwicklung eines Beobachters des Universums kaum erklärbare, gewaltige Sprünge: Geburt der Erde – Januar, erste Zellen – März, erste hochentwickelte eukaryotische Zellen – September, erste vielzellige Lebensformen – Oktober, erste Wirbeltiere – November, Säugetiere – Dezember, Mensch taucht in der Evolution auf – 3,5 Minuten vor Jahresende. Biologisch ist der Mensch nichts Besonderes, denn seine DNA stimmt zu 98,4% mit der DNA der Schimpansen überein. Er ist mit dem Schimpansen näher verwandt als der Schimpanse mit dem Gorilla. Doch auf geistiger Ebene hat allein der Mensch praktisch jenseits der Biologie einen ganz eigenartigen und noch rätselhaften „Megaschritt“ in der Lebensentwicklung vollzogen. Der „selbstbewusste Geist“ des Menschen kann inzwischen sowohl das Atom als auch das Universum mitsamt dem „Urknall“ verstehen.

Literatur

Breuer R. *Das anthropische Prinzip*. Umschau Verlag. Frankfurt. 1984.

Gale G. *Das anthropische Prinzip: Kein Universum ohne Mensch*. Spektrum der Wissenschaft. Februar 1982. S. 90–99.

Reitz M. *Leben jenseits der Lichtjahre*. Insel Verlag. Frankfurt-Leipzig. 1996.

Die RNA-Welt

Die Entstehung des Lebens auf der Erde gleicht einem komplizierten Stufenprozess, der noch nicht vollständig verstanden werden kann. Simulationsexperimente zeigen, dass die Vorstufen und Bausteine der Biomoleküle abiotisch entstehen können. Das Leben selbst begann vermutlich mit einer RNA-Welt, da RNA-Moleküle sowohl zu einer Selbstreproduktion als auch zu einer Katalyse (Ribozyme) fähig sind. Erst später wurde die RNA durch die stabilere DNA ersetzt. Enzyme auf Protein-Basis übernahmen die Aktivitäten der Ribozyme auf RNA-Basis.

Leben hat sich mit sehr großer Wahrscheinlichkeit direkt auf dem Planeten Erde entwickelt. Nach Schätzungen ist die Erde etwa 4,5 Milliarden Jahre alt, und erste Zellen gab es vermutlich bereits vor rund 3,8 Milliarden Jahren. Der äußerst komplizierte und über weite Strecken noch rätselhafte Prozess der Lebensentstehung musste sich deshalb relativ rasch abgespielt haben und war schon nach einigen hundert Millionen Jahren beendet. Erst nachdem Zellen mit ihren Funktionsräumen zu einer weitgehend identischen Reproduktion fähig waren und gleichzeitig zum eigenen Lebenserhalt über einen stabilen Stoffwechsel verfügten, konnte die eigentliche biologische Evolution des Lebens beginnen.

Zum direkten Ursprung des Lebens und seiner vorbiologischen Entwicklungsphase sind noch zahlreiche Fragen unbeantwortet. Alle heutigen Lebensformen bestehen aus Zellen, die sich durch einen merkwürdigen Dualismus auszeichnen. Es gibt in jeder Zelle Moleküle, die Informationen tragen (Nukleinsäuren), und es gibt Moleküle, die für den Stoffwechsel verantwortlich sind (Proteine). Vorstufen und Bausteine dieser Moleküle können noch heute abiotisch und spontan bei einer Simulation der Umweltbedingungen der jungen Erde entstehen. Wie sich einst die kompletten und großen Biomoleküle bildeten, ist allerdings nicht nachvollziehbar.

Nukleinsäuren und Proteine sind außerdem nicht einzeln für die vollständigen Lebensfunktionen zuständig, sondern müssen sich gegenseitig zu einer gemeinsamen Einheit ergänzen, damit Leben überhaupt funktionieren kann. Auf das Wesentliche konzentriert, besteht eine Zelle einerseits aus einem genetischen Informationsspeicher (Gene) sowie andererseits aus einem Syntheseapparat für den Metabolismus (Enzyme); der genetische Informationsspeicher muss zusätzlich noch zu Mutationen fähig sein, damit sich die Zelle fortentwickeln kann. Dabei sind Nukleinsäuren Informationsmoleküle, die vieles wissen und wenig können und Proteine Funktionsmoleküle, die vieles können und wenig wissen. Damit Leben funktioniert, mussten sich vor Jahrmilliarden diese beiden Molekül-Formen zu einer nicht mehr trennbaren Einheit zusammengefunden haben, um anschließend nur noch koordiniert zu arbeiten. Eine wichtige Frage lautet deshalb: Gab es zuerst die Information oder die Funktion? Begann das Leben mit der Replikation des Wissens über das Leben oder mit dem Stoffwechsel zum Erhalt des Lebens? Im bildlichen Vergleich zusammengefasst: War zuerst das Ei (Information) oder die Henne (Funktion) da?

Eine Hypothese, die besonders von dem amerikanischen Biophysiker Freeman Dyson vertreten wird, besagt, dass sich Vorstufen zum Leben aus zunächst zwei unabhängigen Entwicklungsprozessen gebildet haben. Der erste Prozess führte zu einem System der „Replikation ohne Stoffwechsel“ und der zweite zu einem System des „Stoffwechsels ohne Replikation“. Beide Prozesse fanden später zusammen, sie vereinigten sich dauerhaft und das Leben war vollwertig. Dyson ist ein Anhänger der Hypothese „Metabolismus zuerst“ und versuchte mathematisch, die metabolische Entwicklung zum vollwertigen Lebensprozess zu beschreiben. Allerdings hatte er Schwierigkeiten, den Metabolismus überhaupt zu definieren. Leichter haben es die Vertreter der Hypothese „Replikation zuerst“. Tatsächlich gibt es Rechenmodelle und auch experimentelle Ansätze zum Nachweis einer abiotischen Selbstreproduktion von Biomolekülen. Der deutsche Nobelpreisträger Manfred Eigen formulierte für Nukleinsäuren einen Hyperzyklus, mit dessen Hilfe sich Biomoleküle eigenständig reproduzieren können und dabei gleichzeitig ihre Qualitäten verbessern. Übrig bleibt zuletzt das System mit der höchsten Lernfähigkeit. Selektionsmechanismen können somit bereits auf der Ebene von Molekülen in einem abiotischen System stattfinden. Dennoch können selbst die kompliziertesten Laborsimulationen und Rechenmodelle nicht nachweisen, wie Leben tatsächlich einst entstand, sondern nur erklären, wie wichtige Prozesse und Schlüsselereignisse auf dem Weg zu Lebensentstehung möglicherweise abliefen.

Unter den Vorstellungen zur Entstehung des Lebens ist der Begriff der „RNA-Welt“ (RNA: Ribonukleinsäure) heute so populär wie die „Ursuppe“. Die RNA-Welt unter-

stützt die Hypothese „Replikation zuerst“ und hat sich bisher bei den Forschungsarbeiten zu den Ursprüngen des Lebens als sehr fruchtbar erwiesen. RNA-Moleküle können eine Doppelfunktion erfüllen; sie können genetische Informationen tragen und sie können gleichzeitig als Ribozyme die Eigenschaften von Enzymen übernehmen. Als der Amerikaner Thomas Czeck in den 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts zusammen mit anderen Mitarbeitern die noch heute in Zellen aktiven Ribozyme entdeckte, fiel ein Dogma der Molekularbiologie. Vorher galt es als erwiesen, dass nur Proteine enzymatische Aktivitäten entfalten können, doch seit dieser Entdeckung ist geklärt, dass auch die RNA solche Fähigkeiten besitzt. Damit wurde das „Ei-Henne“-Paradoxon mit einem Schlag gelöst. Die Ribonukleinsäure ist sowohl als Werkzeug der Informationsreplikation als auch des Stoffwechsels geeignet; sie ist gleichzeitig „Ei“ und „Henne“. Die RNA war das erste „lebende“ Molekül auf dem Planeten Erde, sie war somit Information und Funktion. Bevor sich die heutige, aktuelle und moderne Molekularbiologie und Biochemie durchsetzte, gab es auf der Ur-Erde eine RNA-Welt; es handelte sich um „Leben“ auf der Basis von RNA. Die Selbstreproduktion der RNA beruhte auf der Grundlage der Basenpaarung nach dem von Watson und Crick entdeckten Prinzip. Die einsträngige und ursprüngliche RNA stellte eine Matrize zur Anlagerung von passenden und abiotisch gebildeten RNA-Bausteinen (Ribonukleotiden) dar. Dabei entstanden aus der Original-Sequenz die Komplementär-Sequenz und aus der Komplementär-Sequenz schließlich wieder die Original-Sequenz. Fehlpaarungen gestatteten sogar eine Art Mutation. Im Endergebnis wurde während dieser Prozedur die RNA vervielfältigt und konnte zuletzt durch die Ribozym-Eigenschaft des gebildeten Moleküls zerschnitten werden. Die RNA unterlag dabei sofort einem Selektionsprozess, sie kooperierte mit der Umwelt der Ur-Erde und verkörperte durch ihren Einzelstrang-Charakter gleichzeitig einen „Genotyp“ und einen „Phänotyp“. Der „Genotyp“ entsprach der Sequenz der RNA-Bausteine und der „Phänotyp“ der wechselnden Raumstruktur dieser Kette aus RNA-Bausteinen. Allein aufgrund einer variablen Reihenfolge der RNA-Bausteine konnte sich die Raumstruktur äußerst vielfältig ausprägen, und es gab entsprechend viele RNA-Spezies. Vermutlich existierten in der frühen RNA-Welt sogar mehr RNA-Bausteine als heute in den Zellen. Durch die strenge Selektion haben sich allerdings nur die heute gültigen vier Bausteine erhalten: Adenin (A) und Uracil (U) sowie Cytosin (C) und Guanin (G). In der RNA-Welt gab es noch keine Prozesse, die durch Proteine beeinflusst werden konnten. Proteinoiden, kleine Ketten aus Aminosäuren, konnten zwar spontan entstehen, aber sie konnten keine Enzymfunktionen wahrnehmen.

In modernen Zellen besteht der genetische Informationsspeicher nicht mehr aus einsträngiger RNA, sondern aus doppelsträngiger DNA; dabei wurde der RNA-Bau-

1. Abiotisch gebildete Bauelemente der Biomoleküle
2. Bildung der RNA, Selbstreplikation der RNA
3. RNA mit Enzymcharakter, Ribozyme
4. Synthese von spezifischen Peptiden, Katalyse durch RNA
5. Gemeinsame Evolution von RNA und Proteinen
6. RNA-Genom mit Translationsapparat, Katalyse durch Proteine, RNA-Protein-Komplexe
7. DNA-Kopien der RNA
8. DNA-Genom, Katalyse durch Proteine, RNA-Protein-Komplexe

Tab. 1: Hypothetische Stufen der Lebensentstehung – Übergang von der RNA-Welt zur DNA-Welt.

stein Uracil durch den DNA-Baustein Thymidin ersetzt. Doppelsträngigkeit garantiert gegenüber dem Einzelstrang eine höhere Stabilität und damit einen verstärkten Schutz der genetischen Information. Thymidin erwies sich als zweckmäßiger als Uracil. Geht z. B. dem RNA-Baustein Cytosin eine Amino-Gruppe verloren, wird das Molekül zu Uracil, was den Informationsgehalt der RNA-Kette stört. Durch Thymidin kann ein solcher Fehler nicht passieren. Verliert der DNA-Baustein Cytosin eine Amino-Gruppe, bildet sich zwar ebenfalls Uracil, doch die Zelle erkennt sofort diesen Fehler, da Uracil nicht zur DNA gehört. Reparatursysteme schneiden das Uracil umgehend aus der DNA heraus. RNA dagegen ist in der Zelle kurzlebig und ein defektes Molekül wird bald ersetzt. Der Übergang von der alten RNA- in die moderne DNA-Welt fand während der Lebensentwicklung vermutlich schleichend und in Übergängen statt (Tab. 1).

Die Entwicklung der ersten RNA-Moleküle durch Zufallssynthesen zu erklären, bereitet beachtliche Schwierigkeiten. Die RNA ist ein kompliziertes kettenförmiges Molekül mit einem Zuckeranteil aus Ribose. Bei zufälligen chemischen Reaktionen, wie sie auf der Ur-Erde ständig stattfanden, konnten zwar abiotisch zahlreiche Zucker entstehen, doch diese Zucker stellten eine komplizierte Mischung aus unterschiedlichen Zuckermolekülen dar, und die Ribose war nicht einmal der Hauptbestandteil dieser Mischung. Warum gerade Ribose als Bestandteil der RNA ausgewählt wurde, ist heute nicht mehr nachvollziehbar. Der Nobelpreisträger Christian de Duve brachte die Erklärungsnoté sogar auf den Punkt und veröffentlichte in der angesehenen Zeitschrift „Nature“ einen Beitrag mit dem Thema: „Hat Gott die

RNA erschaffen?" Manche Forscher halten es für unmöglich, dass RNA in einer für die Lebensentwicklung ausreichenden Menge und Reinheit auf der Ur-Erde entstanden sein könnte. In der Prä-RNA-Welt sind deshalb die Schwierigkeiten, den Beginn der Lebensentwicklung zu erklären, noch größer als in der RNA-Welt. Francis Crick, immerhin ein Nobelpreisträger und Mitentdecker des genetischen Codes, hält es sogar für möglich, dass die RNA einen außerirdischen Ursprung hat und nicht erstmals auf der Ur-Erde entstanden ist. Im Inneren der Milchstraße gibt es wesentlich ältere Sterne als die Sonne, so dass auf Planeten dieser Sterne für eine mögliche Lebensentwicklung sehr viel mehr Zeit zur Verfügung stand als auf der noch jungen Ur-Erde.

Wird eine Mischung aus Purinen (Adenin, Hypoxanthin und Guanin) mit Ribose und Magnesiumsalzen erhitzt, bilden sich geringe Mengen von Nukleosiden; also RNA-Basen mit einem Zuckeranteil. Eine abiotische Nukleosid-Synthese könnte deshalb erklärt werden. Wird dagegen der Versuch mit Pyrimidinen (Cytosin und Uracil) wiederholt, entstehen keine Nukleoside. Es müssen somit bei der Synthese auf der Ur-Erde noch unbekannte Helfer angenommen werden. Für die Guanin-Synthese selbst muss unter abiotischen Bedingungen von einer Cyanid-Konzentration von über 2,2 Mol pro Volumeneinheit ausgegangen werden. Ob solche Konzentrationen auf der Ur-Erde einmal zufällig entstanden sein könnten, ist schwer nachvollziehbar, so dass wieder unbekannte Helfer angenommen werden müssen. Heute werden in diesen unbekannt Helfern unterschiedliche Mineralien vermutet.

Während ihrer Frühzeit wurde die Erde ständig von gewaltigen Meteoriten-Einschlägen getroffen, die theoretisch komplette Ozeane zum Verdampfen bringen konnten und die Umwelt langfristig völlig veränderten. Durch einen gigantischen Himmelskörper soll z. B. auch der Mond von der frühen Erde abgetrennt worden sein. Es ist wahrscheinlich, dass die Erde durch solche Einschläge hin und wieder sogar völlig sterilisiert wurde. Möglicherweise gab es einen wiederholten Start der Lebensentwicklung, wobei jeweils noch Trümmer der vorher untergegangenen Entwicklungsstufen verwertet werden konnten. Während dieser chaotischen Phase des Bombardements der frühen Erde könnten durchaus auch chemische Reaktionen abgelaufen

Literatur

- De Duve C. *Aus Staub geboren*. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg–Berlin. 1995.
 Rauchfuß H. *Chemische Evolution und der Ursprung des Lebens*. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg. 2005.
 Zubay G. *Origins of Life on the Earth and in the Cosmos*. Academic Press. New York. 2000.

Die Protein-Welt

Bevor das Leben in seiner Entstehung und Entwicklung die zelluläre Ebene erreichte, gab es vermutlich zwei voneinander unabhängige Stufenprozesse, die als „Protein-Welt“ und als „RNA-Welt“ bezeichnet werden. Während der „Protein-Welt“ entwickelten sich die Proteine, die für die spätere Zelle zentrale Struktur- und Funktionsmoleküle darstellten. Aminosäuren sind Bausteine der Proteine und können unter bestimmten Umweltbedingungen sowohl auf der Erde als auch außerhalb spontan entstehen. Der Entwicklungsweg von den Aminosäuren zu den Proteinen ist dagegen erst wenig erforscht. Vermutlich gab es früher zahlreiche heute unbekannte Hilfskonstruktionen, die zur Bildung der ersten Proteine führten.

Die Entstehung des Lebens auf der Erde gehört zu den großen Rätseln der Wissenschaft und kann erst in Teilen verstanden werden. Leben ist in seinen biochemischen Strukturen und Funktionen so unerhört komplex, dass zu seiner Entwicklung vermutlich zahlreiche einzelne, aber miteinander verzahnte Schritte notwendig waren. Gesichert erscheint, dass es auf dem Weg von der unbelebten zur belebten Materie zahlreiche rätselhaft Übergangszonen gab, die sich aufgrund des fehlenden Wissens nur schwer verstehen und rekonstruieren lassen.

Heute existiert Leben allein auf der Grundlage von Zellen, die im wesentlichen aus einem genetischen Informationsspeicher sowie einem Syntheseparat zur Umsetzung dieser Informationen bestehen. Beide Einheiten werden überwiegend aus völlig unterschiedlichen Typen von Molekülen aufgebaut: der genetische Informationsspeicher aus Nukleinsäuren und die Produkte des Syntheseparates aus Proteinen.

Bevor sich erste Zellen bildeten, war die Situation wahrscheinlich völlig anders. Vorstufen des Lebens waren unabhängig von Zellen. Auf dem Weg zur Lebensentstehung haben sich beide Formen der organischen Makromoleküle vermutlich für lange Zeit unabhängig voneinander fortentwickelt und erst später zusammengefunden und sich eng miteinander verbunden. Bis sich vollwertiges Leben herausgebildet hatte, war somit eine ganz außergewöhnliche strukturelle und funktionelle Feinabstimmung zwischen Nukleinsäuren und Proteinen notwendig. Allein können beide Molekültypen kein vollwertiges Leben bilden. Nukleinsäuren sind Moleküle, die Informationen speichern, damit viel wissen, aber nur wenig können. Proteine dagegen stellen innerhalb von Zellen Moleküle dar, die zu vielen funktionellen Leistungen fähig sind, aber nur aufgrund des Wissens der Nukleinsäuren überhaupt synthetisiert werden können.

Bevor Leben auf der Grundlage von Zellen existierte, gab es mit großer Wahrscheinlichkeit jeweils eine parallele und lange voneinander unabhängige „Nukleinsäure-Welt“, auch „RNA-Welt“ genannt, denn die RNA ist älter als die DNA sowie eine „Protein-Welt“.

Proteine sind sehr langkettige Moleküle und werden bausteinartig aus Aminosäuren aufgebaut. Die wechselnde Reihenfolge dieser molekularen Bausteine ist dann für die jeweils besondere Struktur und Funktion der Proteine verantwortlich. Aminosäuren können sich unter bestimmten Voraussetzungen sogar außerhalb einer Zelle spontan bilden – und genau diese Voraussetzungen trafen auf der frühen Erde zu. Der erst 23jährige Student Miller und sein Lehrer, Nobelpreisträger Urey, rekonstruierten 1953 an der Universität Chicago in Glasbehältern die Umweltsituation der Erde unmittelbar nach ihrer Entstehung (Abb. 1).

Ein kleiner Glasbehälter wurde mit Wasser gefüllt und ein größerer Glasbehälter mit den Gasen Methan, Ammoniak und Wasserstoff. Beide Glasbehälter waren durch ein Röhrensystem miteinander verbunden und vorher luftleer gemacht worden; es fehlte die Atmosphäre der irdischen Gegenwart. Im kleineren Glasbehälter wurde das Wasser zum Kochen gebracht, und im größeren Glasbehälter wurden Elektroden angelegt, die bei etwa 60 000 Volt fortlaufend Funken-Entladungen produzierten. Während dieses Simulationsexperimentes stieg aus dem kleineren Glasbehälter Wasserdampf hoch und gelangte in den größeren Glasbehälter, wo sich ein intensiver Kontakt mit Methan, Ammoniak und Wasserstoff sowie der Energie der Funken-Entladungen ergab. Das System kopierte die Frühzeit der Erde: Flüssiges Wasser kochte wie einst durch die Lavaströme, Funken-Entladungen simulierten den Einfluss von Blitzen und energiereichen Weltraumstrahlungen, und die Gase

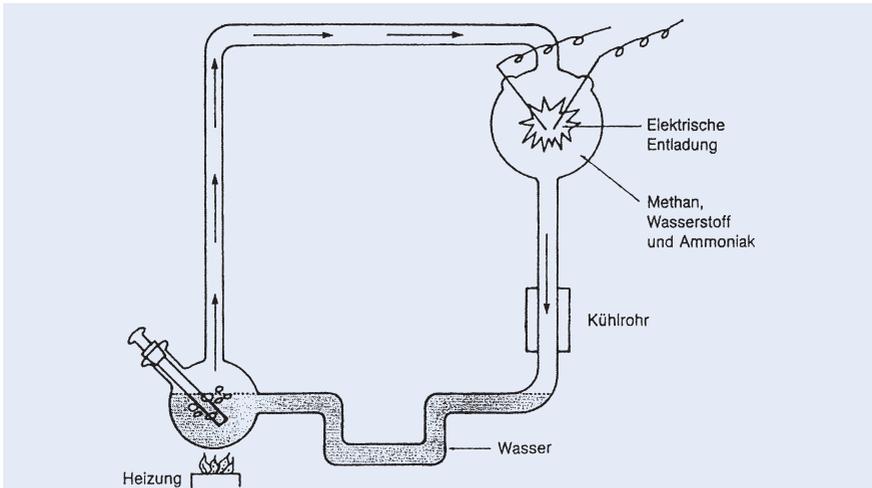


Abb. 1: Schematische Darstellung der Simulationsexperimente von Miller und Urey, die zur nicht-biologischen und spontanen Synthese von Aminosäuren führten. Es wurde die Umweltsituation der frühen Erde kopiert. (nach: M. Reitz, *Leben jenseits der Lichtjahre*. Frankfurt 1996)

reproduzierten die Ur-Atmosphäre, in der es keinen freien Sauerstoff gab. Sollte es in der frühen Erdatmosphäre Spuren von freiem Sauerstoff gegeben haben, wurde er vom Eisen der frühen Erdoberfläche abgefangen. Nach der Entstehung der Erde war Eisen vermutlich noch gleichmäßig verteilt und sank erst später durch sein hohes Gewicht überwiegend in Richtung Erdkern ab.

Das Simulationsexperiment lief ohne Unterbrechung für einige Tage. Dabei konnte beobachtet werden, wie sich das Wasser langsam immer stärker rötlich verfärbte. In dem System fanden somit unabhängig von äußeren Einflüssen zahlreiche chemische Reaktionen statt. Als diese spontanen Reaktionsprodukte später analysiert wurden, ergab sich eine Überraschung. Zu ihnen gehörten unter anderem Aminosäuren, die Bausteine der Proteine sowie Vorstufen für Nukleinsäurebasen. Rund 10% des im Methan enthaltenen Kohlenstoffes waren in dem Simulationsexperiment für organische Verbindungen verarbeitet worden. Unter bestimmten Umweltsituationen, die auf der frühen Erde gegeben waren, können somit experimentell Bausteine der Proteine auch unabhängig von einem biologischen System wie etwa einer Zelle gebildet werden.

Über den Autor

Dr. Manfred Reitz (Jhrg. 44) studierte Biologie mit den Schwerpunkten Biochemie und Molekularbiologie sowie Publizistik. Er hat an mehreren Forschungsinstituten Themen zur Genotoxizität und Krebsforschung bearbeitet. Daneben schreibt er als Wissenschaftsjournalist für bekannte Zeitungen und Zeitschriften. Von ihm stammen zahlreiche und erfolgreiche Sachbücher. Dr. Reitz ist Mitglied im Deutschen Fachjournalisten-Verband e.V. sowie bei der New York Academy of Sciences und anderen wissenschaftlichen Vereinigungen. Seine E-Mail-Adresse: reitzmanfred@yahoo.de

Übersicht über das publizistische Wirken des Autors (Auszug)

I Journalistische Veröffentlichungen

70er Jahre

1. Regelmäßige Mitarbeit für Themen aus den Biowissenschaften und der Medizin bei „Umschau in Wissenschaft und Technik“, Frankfurt/Main

1978: Preis des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, Bonn, für eine vorbildliche, allgemeinverständliche Darstellung eines wissenschaftlichen Themas

80er Jahre

1. Regelmäßige Mitarbeit für Themen aus den Biowissenschaften und der Medizin bei „Neue Zürcher Zeitung“, Zürich, „Die Zeit“, Hamburg, „Die Welt“, Bonn, und andere überregionale Presseorgane

2. Herausgabe von Pressenotizen im Auftrag der Akademie der Wissenschaften und der Literatur zu Mainz, mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

3. Wissenschaftliche Beratungen für GEO-Film, Hamburg, bei der Gestaltung von Drehbüchern für das ZDF-Wissenschaftsmagazin „Querschnitte“

Ab 90er Jahre

1. Regelmäßige Mitarbeit für Themen aus den Biowissenschaften und der Medizin bei der Presse-Agentur Dukas, Zürich, Vertrieb der Artikel im gesamten deutschen Sprachraum
2. Betreuung der monatlichen Kolumne „Aus Wissenschaft und Forschung“ in der Fachzeitschrift „die pharmazeutische industrie – pharmind®“, offizielles Mitteilungsorgan der Verbände der Pharma-Industrie in Deutschland, Österreich und in der Schweiz
3. Veröffentlichung von Presseinformationen und Pressearbeit für den Beutenberg Campus, Gemeinschaft von Forschungsinstituten in Jena (ab 2003)
4. Unregelmäßige Mitarbeit bei überregionalen Zeitungen und Zeitschriften
5. Mitarbeit bei Apotheken-Zeitschriften
6. Unregelmäßige Mitarbeit bei Deutschlandradio Kultur, Berlin
7. Herausgabe von Sonderheften bei Zeitschriften wie z. B.: M. Reitz (Hrsg.), Spektrum der Wissenschaft, Digest: Altern, Krebs und Gene (Digest 2/1998)

Insgesamt hat Dr. Manfred Reitz über 600 journalistische Publikationen aus dem Bereich der Biowissenschaften und der Medizin verfasst.

Veröffentlichungen im Grenzbereich Medizin- und Kulturgeschichte

Die folgenden Arbeiten stammen von Dr. Manfred Reitz als Alleinautor und sind sämtlich erschienen in „Aktuelle Dermatologie“: „Hautkrebs bei alten Hochkulturen“ (31, 117–120; 2005); „Die Hautfarbe der alten Ägypter“ (31, 417–421; 2005); „Blonde Menschen im alten China“ (32, 108–112; 2006); „Weiße Indianer in Nordamerika“ (32, 334–338; 2006); „Weiße Indianer in Südamerika“ (32, 440–445; 2006); „Die weiße Dame von Abri Maak“ (32, 533–535; 2006).

Veröffentlichungen zur Kunst- und Kulturgeschichte

1. Unregelmäßige Mitarbeit bei Kunstzeitschriften und Sammlerzeitschriften
2. Beiträge für Ausstellungskataloge und Werkverzeichnisse von Künstlern
3. Präsentation von Künstlern der Gegenwart in einer eigenen Reihe der Zeitschriften „Magazin Sammeln“, Reichertshausen bei München, und „Litterae“, Zeitschrift der Europäischen Akademie der Wissenschaften und der Künste, Salzburg

Insgesamt hat Dr. Manfred Reitz über 100 journalistische Publikationen aus dem Bereich der Kunst und der Kulturgeschichte verfasst.

II Buchveröffentlichungen

1. Manfred Reitz, Peter Gutjahr „Krebs – was ist das?“. Ullstein Verlag, Frankfurt-Berlin-Wien (1983)
2. Manfred Reitz „Die Alge im System der Pflanzen“. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart-New York (1986) (Veröffentlichung der Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz)
3. Manfred Reitz „Große Kunstfälschungen – Falsche Kunst und echte Fälscher“. Insel Verlag, Frankfurt-Leipzig (1993)
4. Manfred Reitz, Peter Gutjahr „Krebs besiegen – Entstehung – Behandlung – Erfolge“. Ullstein Verlag, Frankfurt-Berlin (1994)
5. Manfred Reitz „Leben jenseits der Lichtjahre – Die Wissenschaften auf der Suche nach außerirdischen Intelligenzen“. Insel Verlag, Frankfurt-Leipzig (1996)
6. Manfred Reitz „In Alters Frische – Neueste Erkenntnisse der Altersforschung“. Ullstein, Verlag Gesundheit, Berlin (1996)
7. Manfred Reitz „Leben jenseits der Lichtjahre – Die Wissenschaften auf der Suche nach außerirdischen Intelligenzen“. Taschenbuchausgabe, Insel Verlag, Frankfurt-Leipzig (1997)
8. Manfred Reitz „Berühmte Kunstsammler – Von Verres bis Peggy Guggenheim“. Insel Verlag, Frankfurt-Leipzig (1998)
9. Manfred Reitz „Verschollenes Gold – Schätze, die noch zu heben sind“. Battenberg Verlag/Weltbild Verlag, Augsburg (1999)
10. Manfred Reitz „Alltag im Alten Ägypten“. Battenberg Verlag/Weltbild Verlag, Augsburg (1999)
11. Manfred Reitz „Von Zellen, Tieren und Menschen“. ECV · Editio Cantor Verlag, Aulendorf (2001)
12. Manfred Reitz „Gene, Gicht und Gallensteine – Wenn Moleküle krank machen“. Wiley-VCH Verlag, Weinheim (2001)
13. Manfred Reitz „Die geraubte Mona Lisa – Spektakuläre Kunstdiebstähle“. Insel Verlag, Frankfurt-Leipzig (2002)
14. Manfred Reitz „Auf der Fährte der Zeit – Mit naturwissenschaftlichen Methoden vergangene Rätsel entschlüsseln“. Wiley-VCH Verlag, Weinheim (2003)
15. Manfred Reitz „Prinzip Uhr-Gen. Wie unser Altern programmiert ist“. Hirzel Verlag, Stuttgart (2004/07); Ausgabe in Blindenschrift / Blindenbuch, Lizenz: Medibus (2006)

16. Manfred Reitz „Das Leben auf der Burg – Alltag, Fehden und Turniere“. Thorbecke Verlag, Ostfildern (2004); Ausgabe in Südkorea; Planet Media Publishing Co. Seoul (2006)
17. Manfred Reitz „Rätseltiere - Mythen, Spuren und Beweise“. Hirzel Verlag, Stuttgart (2005); Ausgabe in Südkorea: Book Cosmos, Seoul (2007)
18. Manfred Reitz „Die Chaos-Zellen – Biologie der Krebserkrankung“. Hirzel Verlag, Stuttgart (2006)
19. Manfred Reitz „Spione, die die Welt bewegten – Von den Pharaonen bis Mata Hari“. Theiss Verlag, Stuttgart (2006); Ausgabe in Tschechien: Verlag Vikend, Prag (2007)
20. Manfred Reitz „Schinderhannes und Spießgesellen – Kleine Geschichte der Räuber und Raubritter“. Thorbecke Verlag, Ostfildern (2007)

Mitarbeit bei folgenden Buchveröffentlichungen

1. Manfred Reitz „Inhalationsanästhetika“ und „Zytostatika“ in: „Handbuch der Umweltgifte – Klinische Umwelttoxikologie für die Praxis“. M. Dauderer (Hrsg.), ecomed Verlag, Landsberg-München (1991)
2. Manfred Reitz „Biologie des Alterns und Krebs“ in: „Geriatrische Onkologie“. K. Höffken et al. (Hrsg.), Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York (2002)
3. Manfred Reitz „Der Mensch – ein Kompromiss der Schöpfung“ in: „Der perfekte Mensch. Genforschung zwischen Wahn und Wirklichkeit“. C. Y. Robertson (Hrsg.), NOMOS-Verlag, Baden-Baden (2003)
4. Manfred Reitz „Kunst und ärztliche Diagnose“ in: „Expedition in die Wissenschaft. Sach- und Spaßgeschichten aus Chemie und Biologie“. Wiley-VCH Verlag, Weinheim (2006)
5. Manfred Reitz, Beiträge in: „Kleine Kulturgeschichte der Haut“. E. G. Jung (Hrsg.), Steinkopff Verlag, Darmstadt (2007)