

Hansjörg Küster



FLORA

Die ganze Welt der Pflanzen

C.H.Beck

Hansjörg Küster

Flora

Hansjörg Küster

Flora

Die ganze Welt der Pflanzen

C.H.Beck

Mit 9 Schwarz-Weiß-Abbildungen und 12 Abbildungen in Farbe

1. Auflage. 2022

© Verlag C.H.Beck oHG, München 2022
Umschlagentwurf: Rothfos & Gabler, Hamburg
Umschlagabbildung: © grafvision/Shutterstock
Satz: Janß GmbH, Pfungstadt
ISBN Buch 978 3 406 78323 4
ISBN eBook (epub) 978 3 406 78324 1
ISBN eBook (PDF) 978 3 406 78325 8

www.chbeck.de

*Die gedruckte Ausgabe dieses Titels erhalten Sie im Buchhandel sowie
versandkostenfrei auf unserer Website www.chbeck.de.*

*Dort finden Sie auch unser gesamtes Programm und viele weitere
Informationen.*

Inhalt

1	Geschöpfe ohne Willen	7
2	Einfachste Organismen	17
3	Die willenlose Evolution	27
4	Die Pflanzenzelle	35
5	Die Algen im Meer	45
6	Tatsachen und Rätsel zur ersten Landpflanze	53
7	Die Wurzel	61
8	Der Spross	75
9	Das Blatt	87
10	Verschiedene Landpflanzen	97
11	Urpflanze und Kormus	109
12	Blüten und Pollenkörner	117
13	Samen und Früchte	127
14	Pflanzen als Nahrung	139
15	Kulturpflanzen	149
16	Hinter dem Gartenzaun	159
17	Vegetation ohne Grenzen	171
18	Wachstum und Wandel	181
19	Nachhaltige Nutzung	191
	Wie dieses Buch entstanden ist	205
	Bildnachweis	210
	Register	211

Geschöpfe ohne Willen

«Suchst du das Höchste, das Größte?
Die Pflanze kann es dich lehren:
Was sie willenlos ist, sei du es wollend – das ist!»

Friedrich Schiller

Pflanzliches Leben ist grundlegend für alle anderen Formen von Leben auf der Erde. 99,5 Prozent aller organischen Masse wurden von Pflanzen aufgebaut. Ein Leben auf der Erde ist möglich, wenn es dort keine Tiere, erst recht, wenn es dort keine Menschen gibt. Aber ein Leben auf der Erde ohne Pflanzen ist undenkbar. Sie allein sind dazu in der Lage, organische Substanzen aufzubauen, die von Tieren und Menschen als Nahrung aufgenommen werden können, sie geben lebensnotwendigen Sauerstoff in die Atmosphäre ab und haben, seitdem es Fotosynthese gibt, den Gehalt an Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre so weit verringert, dass sich das Leben in seinen wesentlichen Zügen unter geeigneten Temperaturbedingungen abspielen kann. Das ist – von Ausnahmen abgesehen – nur zwischen dem Gefrierpunkt und etwas über 40 Grad Celsius möglich. Im Eis können die meisten Lebewesen nicht existieren, weil sie dann kein Wasser erhalten – es ist ja gefroren. Bei Temperaturen von weit mehr als 40 Grad Celsius werden Eiweiße denaturiert, das heißt, sie verlieren ihre Struktur und Funktion. Es gibt nur ganz wenige Lebewesen, die bei höheren oder niedrigeren Temperaturen leben können. Es ist ein

großer Zufall, dass sich derzeit eine so enge Spanne an Temperaturen auf unserem Planeten zur Entwicklung besonders vieler Formen von Leben nutzen lässt. Wasser hat dabei eine wichtige Funktion: Es erwärmt sich weniger rasch als die Atmosphäre, kühlt aber auch langsamer ab und trägt so zur Stabilisierung der Temperaturen bei. Im Wasser war das Temperaturintervall von null Grad Celsius bis etwas über 40 Grad Celsius früher erreicht als außerhalb davon. Das Leben entstand im Wasser. Es konnte sich erst dann auf das Land ausbreiten, als die im Meer lebenden Pflanzen genug Fotosynthese betrieben und genug Kohlenstoffdioxid abgebaut hatten und die Temperaturen auf ein für das Landleben geeignetes Niveau abgesunken waren.

Pflanzen treten uns in vielen Erscheinungsformen entgegen. Sie leben überall dort im Meer, wo noch genug Sonnenlicht ins Wasser eindringt. Sie leben auf dem Land, wo noch genug Regen auf die Erdoberfläche trifft. Sie leben als Einzeller im Wasser, als winzige Moose auf dem Land. Es gibt untermeerische «Wälder» aus Tang. Wälder, die diese Bezeichnung wirklich verdienen, weil sie Bäume enthalten, finden wir aber vor allem auf dem Land. Darunter sind immergrüne tropische Regenwälder, Laub abwerfende Wälder der gemäßigten Zonen und Nadelwälder im hohen Norden. Pflanzen sind unsere Nahrung, Menschen sammeln sie, bauen sie als Kulturpflanzen an. Auch die meisten Gewürze sind pflanzliche Produkte.

Pflanzen haben jedoch keineswegs immer einen materiellen Nutzen. Wir können uns an ihnen auch einfach erfreuen, selbst an unscheinbaren Gewächsen, die wir am Wegrand finden. Von bestimmten Pflanzen pflücken wir Blumensträuße, die wir als Stilleben auf den Tisch stellen. Sie betreiben noch Fotosynthese, nehmen Wasser auf, was wir daran merken, dass wir das Wasser in der Blumenvase nachfüllen müssen, aber sie sind doch – willenlos – dem Tod geweiht, weil ihnen die Wurzeln fehlen. Wir beobachten, wie sich die Rose entfaltet, an jedem Tag einen anderen Anblick bietet: die geschlossene Knospe, die sich öffnenden Blüten, die abfallenden Blütenblätter. Blumen haben symbolische Bedeutungen, man nimmt eine ungerade Zahl von Tulpen oder Rosen, um einen Strauß zu binden und ihn zu über-

reichen. Rote Nelken sind für viele Menschen die Blumen der Sozialisten, Seerosen bringt man nicht mit, weil das Unglück bedeutet.

Dennoch wird die zentrale wichtige Bedeutung der Pflanzen von vielen Menschen nicht auf den ersten Blick wahrgenommen. Sie finden Tiere «interessanter». Pflanzen sind einfach «da», Tiere hingegen gilt es zu entdecken. Und sie scheinen so viel «lebendigere» Kreaturen zu sein als die Pflanzen. Im Grunde genommen aber leisten Tiere genau wie wir Menschen viel weniger als Pflanzen. Nur Pflanzen können über die Fotosynthese organische Stoffe aufbauen, aus dem Unsichtbaren sichtbare Materie schaffen. Tiere und Menschen sind auf die Syntheseleistung der Pflanzen angewiesen, um an Nahrung zu kommen.

Die Pflanzenwelt steht mit den drei wichtigsten Erdoberflächenprozessen, mit denen sich Geowissenschaftler befassen, in Verbindung. Der Kreislauf des Wassers als wichtigster dieser Prozesse wird von der Vegetation beeinflusst. Denn zusätzlich zu den Wassermengen, die von der Oberfläche des Landes und auch von den Oberflächen der Pflanzen verdunsten, geben Pflanzen weiteres Wasser ab. Neues Wasser steigt mit neuen Mineralstoffen aus dem Wurzelraum in die Blätter auf. Deswegen kann sich die Oberfläche von Blättern und Sprossen immer wieder abkühlen. Man nennt das Transpiration, ein Vorgang, der mit Verdunstung oder Evaporation (wörtlich: Dampfbildung) nichts zu tun hat. Auch Tiere geben Wasser ab, sie transpirieren ebenfalls oder schwitzen. Die Menge der Wasserabgabe durch Pflanzen ist erheblich größer als die von Tieren. Über bewachsenen Flächen bilden sich zusätzliche Wolken. Sie steigern auch die Regenmengen, die Pflanzen wie Tiere beleben.

Zweitwichtigster Erdoberflächenprozess ist die Fotosynthese, mit der die Pflanzen aus einfachen anorganischen Stoffen, Kohlenstoffdioxid und Wasser, unter Nutzung von Lichtenergie organische Substanzen herstellen. Ein großer Teil davon wird im Verlauf des dritt wichtigsten Erdoberflächenprozesses, der Atmung oder Zellatmung, wieder abgebaut, und zwar möglicherweise bereits in der Pflanzenzelle, in der gleichen Zelle also, in der die Fotosynthese geleistet wird. Allerdings

kann die Atmung niemals den gleichen Umfang wie die Fotosynthese erreichen, denn ein Teil der aufgebauten organischen Substanz wird für das Wachstum der Zelle und der gesamten Pflanze verwendet. Die Fotosyntheseleistung der grünen Teile der Pflanze muss dazu ausreichen, dass auch andere Pflanzenteile, etwa Wurzeln und Früchte, organische Substanz erhalten. Mit den Produkten der Fotosynthese bekommen genauso alle anderen Lebewesen, die keine grünen Pflanzen sind, ihre Nahrung, die Tiere also, die Pilze und auch viele Mikroorganismen. Wenn Tiere Fleisch fressen, muss auch dieses Fleisch ursprünglich einmal von organischer Substanz aufgebaut worden sein, die aus Fotosyntheseprodukten der Pflanze hervorgegangen ist.

Obwohl also die Bedeutung von Pflanzen ungleich größer ist als die von Tieren; obwohl es eine Welt aus Pflanzen und einigen Mikroorganismen geben kann, aber keine Welt, auf der ausschließlich Tiere leben; obwohl die von Pflanzen geleisteten stofflichen Umsetzungen erheblich größer sind und man sich allein von Pflanzen ernähren kann, ausschließlich von Tieren hingegen nur unter Schwierigkeiten; obwohl die Landschaft hauptsächlich durch Vegetation und nur zu einem kleinen Teil durch Tiere bestimmt wird – trotz alledem erfolgt der Zugang zur Biologie, der Wissenschaft vom Leben, für die meisten Menschen über Tiere. Tiere werden im Biologieunterricht meistens *vor* den Pflanzen behandelt. Tiere finden die meisten Menschen interessanter. Viel mehr Menschen gehen in den Zoo als in einen Botanischen Garten. Kinder bauen Nistkästen, um erste Naturerfahrungen zu sammeln, und legen viel seltener ein Herbarium an. Das ist «unlogisch», denn man befasst sich mit Organismen, die nicht ohne andere bestehen können, anstatt zuerst diejenigen Lebewesen zu besprechen, die an allem Anfang stehen. Und das sind die Pflanzen, nicht die Tiere.

Diese der Natur und der Evolution widersprechende Bevorzugung des tierischen Lebens hat weit zurückreichende Wurzeln. Laut dem biblischen Schöpfungsbericht nahm Gott sich für die Schöpfung der Pflanzen nur einen halben Tag Zeit, für die Schöpfung von Tieren und Menschen brauchte er hingegen zwei ganze Tage. Auch wenn

man «Tage» hier nicht wörtlich als genau gleiche Zeitabschnitte von 24 Stunden Dauer auffassen muss, so währte doch die Erschaffung von Tieren und Menschen dem Schöpfungsmythos der Bibel nach viermal so lange wie die Erschaffung der Pflanzen. Tiere und Menschen wurden also als komplexer angesehen als die Pflanzen, die der Erde entsprossen. Dass das Leben aber mit der Schöpfung der Pflanzenwelt entstand und dass dieser Schritt der Evolution eigentlich der viel komplexere war als die Hervorbringung der Tiere und Menschen – das wurde nicht erkannt.

Die geringere Bedeutung, die Menschen den Pflanzen gaben, geht noch aus einer anderen alttestamentlichen Erzählung hervor: der Geschichte von der Sintflut. Noah verwendete Holz als Baustoff für die Arche – aber wo blieben die Bäume, als die Erde überflutet wurde? Er hätte die Arche auf ihrer Reise über den endlosen Ozean niemals ausbessern können. Nur die Tiere durften auf die Arche, jeweils ein männliches und ein weibliches Individuum. Pflanzen kamen nur in Form von Futter auf das Schiff. So wurden pflanzlicher Baustoff und pflanzliche Nahrung genutzt, aber nicht vor der Überflutung bewahrt. Alle Vegetation versank mit allen anderen Lebewesen, die Noah auf seiner Arche nicht mitnehmen konnte, in der Sintflut. Man hatte gewiss die Erfahrung gemacht, dass dies geschah, wenn Flüsse über die Ufer traten und das Land weithin unter Wasser setzten; in den Gebieten, in denen sich diese Katastrophen ereigneten, starben die Pflanzen sicher nicht überall ab. Aber in der Sintflut von biblischem Ausmaß? Hätte es nicht auch eine Arche Flora geben müssen?

Schließlich hörte es auf zu regnen, wie jeder aus der biblischen Geschichte über die Sintflut weiß. Das Zeichen dafür, dass wieder Land auftauchte, brachte die Taube zur Arche: Sie fand einen Ölbaumzweig. Das Wasser musste sich also vom Land zurückgezogen haben, und Landpflanzen wie der Ölbaum konnten wieder auf dem Land leben. Wo hatte der Ölbaum die Zeiten der Überflutung überdauert? Das beschäftigte die Menschen offenbar nicht; Pflanzen kamen wieder, ebenso wie die Landoberfläche wieder auftauchte, wenn sintflutartiger Regen aufhörte.

In der Schule haben wir nicht nur diese biblischen Geschichten gehört, viele von uns wurden als Kinder ebenfalls zuerst mit Tieren, dann mit Pflanzen vertraut gemacht. Kommt man aber dann, beispielsweise im Biologieunterricht, ausgehend von den Tieren endlich auch zu den Pflanzen, werden sie in der Regel mit Tieren verglichen. Eine Pflanze muss doch genauso wie ein Tier Gefühle, so etwas wie einen Blutkreislauf haben, sie muss sich mit anderen Pflanzen unterhalten oder mindestens kommunizieren können! Sie muss sich doch freuen können, Schmerzen haben! Und sie muss doch einen Willen haben! Wer nach solchen Parallelen zwischen Tier und Pflanze sucht oder behauptet, nach diesen Parallelen zu suchen, hat die Pflanze – und damit das Leben auf der Erde insgesamt – nicht verstanden. Dieser Aussage wird die eine oder andere Leserin, der eine oder andere Leser nicht zustimmen, vielleicht wird sie oder er sie sogar mit Empörung ablehnen. Aber sie ist grundlegend. Nicht im Entferntesten ist das Leben einer Pflanze von etwas geprägt, das «Willen» genannt werden könnte oder äußerlich sichtbar eine Aktivität anzeigt. Sie blüht und fruchtet, bildet neue Blätter, Sprosse, Zweige, Äste und Stämme, auch Wurzeln. Ihr Wachstum ist kein aktiver, aber auch kein wirklich passiver Vorgang. Von den Verben, die die Entwicklung einer Pflanze beschreiben, gibt es weder eine aktive noch eine passive Form. Niemand spricht von einem «gewachsen werden», eine Pflanze wird auch nicht «geblüht» oder «gefruchtet» und «gereift», aber die Pflanze keimt, wächst, treibt Blätter, Blüten, Früchte, ohne dies aktiv zu wollen. Um dies adäquat auszudrücken, benötigte man eigentlich ein Genus Verbi zwischen aktiv und passiv, wie es im Altgriechischen oder dem Sanskrit in der Form des Mediums existiert. Die Pflanze ist tatsächlich willenlos, sie kann von Menschen gepflanzt, gesät oder gezogen werden, alles andere ist weder der Macht von uns Menschen noch der Macht der Pflanze unterworfen.

Die Pflanze steht an einem Wuchs- oder Standort, an dem sie mit allen Stoffen versorgt wird, die sie für ihr Leben braucht, man kann sie dort «willenlos» nennen. Eine Wasserpflanze ist mit genügend Wasser versorgt, eine Landpflanze erhält Wasser aus dem Boden – oder über

den Niederschlag, der zuerst in den Boden eindringt und dort die Wurzeln der Pflanze erreicht, um dann in deren andere Teile aufzusteigen. Alle notwendigen Mineralstoffe sind im Meerwasser vorhanden, viele davon auch in ausreichender Menge im Boden. Es gibt mehr Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre als im Wasser, aber in der Nähe der Wasseroberfläche ist doch genug davon vorhanden – genauso, wie es dort ausreichend Licht für die Existenz der Pflanze gibt. Ein Ort, an dem die Pflanze alles findet, was sie zum Leben braucht, ist sozusagen ihr «Schlaraffenland» aus Wasser, Luft, Mineralien und Licht.

Bei einem Tier spricht man aber in der Regel nicht von einem Standort, an dem es sich ein Leben lang aufhalten kann. Es gibt nur wenige Tiere, die ortsfest leben. Die meisten Tiere müssen sich vielmehr bewegen, ein Habitat suchen, innerhalb dessen sie von Ort zu Ort ziehen. An dem einen Ort gibt es Wasser, an einem anderen finden sie optimale Nahrung. Wasser und Nahrung müssen aufgespürt werden. Ihre Quellen müssen vom Tier mit speziellen Sinnen wahrgenommen werden, es muss zu einer koordinierten Aufnahme der Nahrung und des Wassers kommen, das Tier muss also fressen und trinken. Und dann muss es eine Ausscheidung von denjenigen Stoffen geben, die es nicht verwerten kann. Dies funktioniert jedenfalls bei komplex gebauten Tieren nur unter Verwendung eines Nervensystems, das Impulse von Ort zu Ort weiterleitet.

Pflanzen fressen keine organische Substanz wie die Tiere. Daher müssen sie den Ort nicht finden, an dem es etwas zu fressen gibt. Wozu bräuchten sie dann ein Nervensystem? Sie nehmen Wasser und Mineralien auf, behalten die Mineralstoffe und scheiden das Wasser durch die schon erwähnte Transpiration wieder aus. Aber sie besitzen nichts, was sich mit einem Kreislauf vergleichen lässt, einem Blutkreislauf etwa, der überschüssige Substanzen im Körper transportiert, um sie auszuschcheiden. Das alles macht die Pflanze willenlos. Ein eigener Wille ist gar keine Kategorie, der für die Entwicklung einer Pflanze notwendig wäre.

Ein Wille ist überhaupt nichts unbedingt Lebensnotwendiges.

Einen Willen zu haben, eine Absicht, aber auch Schmerzen empfinden zu können, all das ist kein notwendiges Kriterium, um das zu beschreiben, was Leben auszeichnet. Pflanzliches Dasein und auch das Leben der Tiere, ja selbst unser eigenes Leben ist viel stärker passiv, als wir denken. Aber wie dem auch sei: Auf jeden Fall ist die Pflanze ein ganz anderes Lebewesen als ein Tier, das man nur dann versteht, wenn man es nicht mit dem Tier vergleicht, wenn man also nicht das, was man im Tier sehen möchte, auf eine Pflanze überträgt. Nur dann wird die enorme Bedeutung der Pflanzenwelt klar. Das gilt sowohl für einen wissenschaftlichen als auch für einen emotionalen Zugang. Wie man die Dinge auch ergründet, ob man das Leben als Wunder sehen will, als Gottes Werk oder auf einer wissenschaftlichen Basis: Zentral für alles Leben auf dieser Welt sind in jedem Fall die Pflanzen, die das Habitat eines Tieres bilden, es einrahmen in den Ökosystemen, die Existenz der Tiere und auch die menschliche Existenz erst ermöglichen. Aber dazu bedurfte es niemals etwas, das man als «Initiative der Pflanzen» beschreiben könnte.

Genau das hat der Dichter Friedrich Schiller genial erfasst: «Suchst du das Höchste, das Größte? Die Pflanze kann es dich lehren: Was sie willenlos ist, sei du es wollend – das ists!»



Der rote Faden, der durch die folgenden Darstellungen zum Leben der Pflanzen leiten soll, ist ein historischer. Er führt die Organismen in der Reihenfolge auf, wie sie entstanden sind, in einer historischen Anordnung also. Zuerst entwickelten sich einfache Zellen ohne Zellkerne, dann setzten sich komplexere Zellen zusammen, die zu immer noch einfachen pflanzlichen Organismen aus vielen Zellen wurden. Das Leben entwickelte sich im Meer. Erst später entstand auch Leben auf dem Land. Dies war ein komplexer Vorgang, denn das Leben des Meeres musste sich erst in vieler Hinsicht zu einem Leben auf dem Land wandeln, und alle diese Vorgänge mussten der genialen Einsicht Friedrich Schillers entsprechen. Die Pflanze war und ist passiv; wenn

sich neue Formen von Pflanzen entwickelten, musste das ebenfalls passiv vor sich gehen. Die Pflanze «ging nicht an Land». Die Entwicklung vom Leben im Meer zu einem Leben an Land fand dennoch statt. Dabei gab es keinen Stillstand. Nacheinander unterschied sich jedes Individuum einer Entwicklungsreihe von Pflanzen ein wenig von allen Individuen, die vorher dagewesen waren.

Einfachste Organismen

Erst mit der Erfindung immer besserer Mikroskope konnte man in neue Bereiche der Mikrokosmen vorstoßen. In der Folgezeit setzte eine wissenschaftliche Beschäftigung mit der Biologie ein. Bis dahin galt weithin das Weltbild der Bibel, und es dauerte noch einmal eine ganze Weile, bis das wissenschaftliche Weltbild wenigstens gleichwertig neben dem der Bibel bestehen konnte.

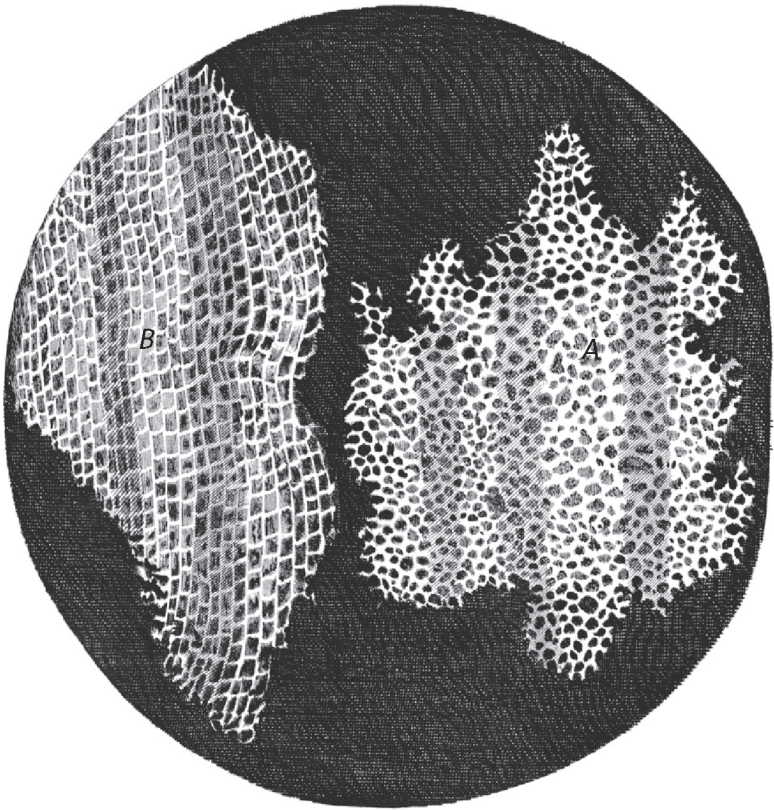
Die ersten Mikroskope wurden um das Jahr 1600 in den Niederlanden konstruiert, im Goldenen Zeitalter des Landes also. Wer ihr Erfinder ist, weiß man nicht mit Sicherheit zu sagen. Mit einem solchen Gerät befasste sich im 17. Jahrhundert der Engländer Robert Hooke. Er war ein Multitalent, ein Bastler und ein begabter Zeichner, außerdem Musiker und Architekt. 1665 erschien in London sein wichtigstes Werk, die «Micrographia», in dem er pflanzliche Zellen abbildete, die er in Kork gefunden hatte. Viele Zellen waren sechseckig und erinnerten Hooke an die Wabenzellen von Bienen. So kam die Zelle zu ihrem Namen.

Der Begriff «cella» stammt aus dem Lateinischen, kam interessanterweise zweimal ins Gebiet nördlich der Alpen und drang in die dort verwendeten Sprachen ein. Auf die Geschichte des Begriffs gehe ich hier etwas ausführlicher ein, weil sie für die Entstehung der Benennung der pflanzlichen Zelle interessant ist. In die Beschreibung naturwissenschaftlicher Phänomene gehen immer auch die Ideen ein, mit denen sie der Mensch erklärt. Es gibt Erklärungen, die so gut sind, dass sie selbsterklärend zu sein scheinen; andere sind eher unglücklich

gewählt und fördern das Verständnis gerade nicht. Aber der Begriff der Zelle war gut gewählt. Die Geschichte des Wortes ist den entsprechenden Eintragungen im «Deutschen Wörterbuch» von Jacob und Wilhelm Grimm zu entnehmen.

In früherer Zeit wurde das lateinische Wort «cella» mit einem K-Laut am Anfang gesprochen, so nimmt man wenigstens an. Daraus entwickelten sich die Begriffe Keller und Kelle. Der Keller ist der Vorratsraum, der nicht unbedingt im Untergeschoss eines Gebäudes liegen muss; man grub auch Erdkeller in den Boden, um Vorräte aufzubewahren. Die Kelle ist eine Art von Gefäß, mit der man Flüssigkeiten schöpfen kann, etwa Suppe. Man nannte so auch ein tiefes Wasserbecken, das sich in Form eines kleinen Stausees hinter einem Wehr bildet. Man verwendete das Wehr und den See zum Fischfang, weil Wasser, wenn es über ein Wehr läuft, einen Strudel bildet, in den Sauerstoff hineingezogen wird. In diesen Strudeln sammeln sich die Fische – und dort kann man sie am besten fangen. In vielen Städten gibt es gleich unterhalb des Wehrs eine Brücke, auf der – mit Grund – die Angler stehen. Orte heißen nach diesen «Kellen», etwa (Berlin-) Cölln und Neukölln, Kiel und Calenberg sowie Celle, das man allerdings heute mit einem C, das wie Z gesprochen wird, anlauten lässt.

Als der Begriff «cella» zum zweiten Mal nach Mitteleuropa kam, meinte er den abgeschiedenen Raum eines Klosters, in dem ein Mönch oder eine Nonne lebte. In übertragener Bedeutung sprach man von der Gefängniszelle; auch sie war nach außen abgeschlossen. Und das galt auch für die sechseckigen Zellen der Bienenwabe, an die sich Robert Hooke beim Anblick von Zellen im Kork erinnert fühlte, die er mit seinem Mikroskop sichtbar machen konnte und von denen er eine künstlerisch hochwertige Zeichnung anfertigte. Pflanzenzellen sind nicht so strikt sechseckig wie die Kammern der Bienenwaben. Aber im Sechseck stehen Körper, die idealerweise eigentlich rund wären, am wenigsten unter Spannung, weshalb sich in den Mustern der Pflanzenzellen häufig Sechsecke erkennen lassen. Manchmal sind sie fünfeckig, auch mal siebeneckig, aber niemals stoßen mehr als drei Zellen genau an einem Punkt aufeinander. Das



Was Robert Hooke 1665 im Mikroskop sah:
Zellen/Hohlräume im Kork; Zeichnung aus seinem Werk «Micrographia».

ist ein Grundsatz, den man strikt beachten muss, wenn man mehrere Zellen in einem «Gewebe» zeichnet, wie man eine Gruppe von ähnlichen Zellen nennt.

Die Zelle als Begriff für den elementaren Bestandteil eines Lebewesens ist heute mindestens so populär wie die Begriffe Keller, Kelle, Kloster- oder Gefängniszelle. Und sie hat – bei aller Verschiedenheit – mit allen vorausgehenden Begriffen Charakteristika gemein: Sie ist abgeschlossen, man kann Vorräte oder Wasser in ihr aufbewahren und zurückhalten. Man kann sie als den kleinsten lebenden Teil von Lebewesen auffassen.

Nur etwas mehr als zehn Jahre nach der bahnbrechenden Entdeckung von Zellen durch Robert Hooke fand der Niederländer Antoni van Leeuwenhoek – ebenfalls mit einem selbstgebauten Mikroskop – im Jahr 1676 Lebewesen, die nur aus einer einzigen Zelle bestehen: Bakterien. Sie sind besonders klein und haben keine Zellkerne wie andere Einzeller und auch alle vielzelligen Organismen. Deswegen nennt man sie auch Prokaryoten oder Prokaryonten, wörtlich etwa «Lebewesen vor der Entstehung von Zellkernen». Man kann sie nach ihrer Form einteilen; ihre Vielfalt ist groß. Runde Bakterien bekamen den Namen Kokken, längliche Stäbchen werden als Bazillen bezeichnet, länglich-gebogen sind die Vibrionen und gewundene Formen heißen Spirillen oder Spirochaeten. Einige Bakterien sind begeißelt, mit einer oder mehreren Geißeln können sie sich fortbewegen. Einige leben einzeln, andere bilden fadenförmige Kolonien. Diejenigen, bei denen das Einzelbakterium rund ist, nennt man dann Streptokokken; wenn das Einzelbakterium länglich ist, spricht man von einem Streptobacillus oder von Streptobazillen. Haufenförmige Kolonien bilden sich beispielsweise bei Staphylokokken. Heute trennt man die erstmals am Ende des letzten Jahrhunderts nachgewiesenen Archaeen von den Bakterien ab; sie sind ebenfalls Prokaryoten, haben also keinen Zellkern.

Bakterien sind im Allgemeinen so klein, dass man sie mit bloßem Auge nicht sehen kann. Es gibt aber auch besonders große Formen, die gerade noch sichtbar sind. Alle Bakterien sind mit Cytoplasma

gefüllt. So nennt man das Stoffgemisch, das sich als Grundstruktur in einer Zelle befindet. Das Plasma ist von einer äußeren Begrenzung umgeben, die aus einer oder mehreren Schichten von Membranen besteht, sowie von Strukturen, die man als Bakterienzellwand bezeichnet, die aber ganz anders aufgebaut sind als Zellwände der Pflanzen. Sie bestehen aus sogenannten Peptidoglycanen, abgewandelten Glukosemolekülen, die zu einem Geflecht vernetzt sind. Die eigentliche Abgrenzung des Organismus nach außen bilden die semipermeablen Membranen. Sie sind für einige Substanzen durchlässig, die das Bakterium aus seinem Außenmedium aufnehmen kann, für andere Stoffe hingegen nicht. Auf diese Weise wird eine Auswahl derjenigen Stoffe getroffen, die in das Bakterium eindringen können. Die Bakterienzellwand bildet dagegen keine eigentliche Abgrenzung des Bakterienorganismus, sie verleiht ihm Stabilität, ist aber auch elastisch. Der Begriff Zellwand ist nur zum Teil ein guter Begriff. Denn man darf sich darunter keine undurchlässige Wand vorstellen, wie es beispielsweise bei der Hauswand der Fall ist.

Es gibt Bakterien mit dicken und solche mit dünnen Zellwänden. Bakterien mit dicken Zellwänden kann man mit einem speziellen Verfahren anfärben, man nennt diese Bakterien gram-positiv. Dünne Bakterienzellwände lassen sich dagegen mit dem gleichen Farbstoff nicht anfärben, sie werden als gram-negativ bezeichnet. Die Möglichkeit der Anfärbung der Zellwände ist ein sehr nützliches Verfahren der Diagnose. Vor allem gram-positive Bakterien kann man durch Hinzufügen des Pilzes *Penicillium*, also durch die medizinische Verwendung von Penicillin, derart schädigen, dass ihre Wände nicht mehr funktionstüchtig sind. Sie verlieren ihre Stabilität, und das Bakterium platzt.

Aufgenommene Stoffe, die die Membranen passiert haben, werden im Plasma der Bakterien gespeichert oder zu anderen Stoffen umgebaut. Einen Zellkern haben die Bakterien – wie schon gesagt – nicht, aber sie besitzen Erbmateriale in Form von DNA bzw. DNS (Desoxyribonucleinsäure), die an einem Ort der Bakterienzelle konzentriert ist. Das DNA-Molekül kann länger sein als der gesamte

Bakterienorganismus, aber er liegt in einer vielfach verknäulten Form vor, so dass man die enorme Größe dieses Moleküls nicht wahrnimmt. Die in sich gewundene und vernetzte Nucleinsäure wird als Nucleotid, als zellkernähnliche Struktur, bezeichnet. Wie bei allen anderen Organismen wird die genetische Information an der DNA abgelesen, und dann in ein ähnlich aufgebautes Molekül einer Messenger-Ribonucleinsäure (m-RNA) transkribiert. An weiteren Bestandteilen der Bakterienzellen, den Ribosomen, werden an den Molekülen einer Messenger-RNA Proteine aus einzelnen Aminosäuren aufgebaut, die anschließend die Durchführung der verschiedenen Stoffwechselleistungen des Bakteriums erleichtern oder gar erst möglich machen.

Einige Bakterien sind Krankheitserreger. Sie befallen andere Organismen und nutzen deren Inhaltsstoffe für ihren eigenen Stoffwechsel aus. Weil sie sich überaus rasch vermehren, wenn ihr Nährmedium nutzbar ist, lassen sie die befallenen Organismen erkranken; denn diese müssen auf lebensnotwendige Stoffe verzichten, so dass sie unter Stress geraten und geschwächt werden. Doch Bakterien können auch ganz andere Dinge leisten, etwa Stickstoff aus der Luft fixieren, Zellulose oder auch Erdöl abbauen. Einige Bakterien erhalten ihre Energie zum Leben von einer der vielen Formen von Gärungen, etwa Milchsäurebakterien. Sie lassen Säure in Milch entstehen – oder in Kohlblättern, die dadurch zu Sauerkraut werden, oder in Blättern allgemein, beispielsweise von Gräsern, die man auf Wiesen gemäht hat. So entsteht Silage, man könnte sagen: Sauerkraut für Kühe. Die Säure konserviert die organische Substanz: Frisches Gras lässt sich in der Säure, die von den Milchsäurebakterien gebildet wird, lange aufbewahren; die damit gefütterten Tiere erhalten auch Monate nach der Ernte noch frisch erscheinendes Futter, das reich an Vitamin C ist. Deswegen ist auch das mit Milchsäurebakterien haltbar gemachte Sauerkraut so «gesund». Wer es im Winter isst, erkrankt nicht an Skorbut, der früher gefürchteten Vitamin-C-Mangelkrankheit. Einige Bakterien können Fotosynthese betreiben, also – wie Pflanzen – aus einfachen anorganischen Bestandteilen, Wasser und Kohlenstoffdioxid,

organische Stoffe herstellen. Man bezeichnet diese Formen als Cyanobakterien.

Früher fasste man Cyanobakterien als im Wasser lebende einzellige Pflanzen ohne Zellkerne auf und nannte sie «Blualgen». Diese Bezeichnung und auch das Einordnen der Blualgen ins Pflanzenreich hat durchaus seine Berechtigung, ist doch die Fähigkeit zur Photosynthese ein Kennzeichen von Pflanzen. Die Vielfalt der Stoffwechselwege, die von einzelnen dieser zellkernlosen kleinen Lebewesen geleistet werden, macht sie jedoch insgesamt miteinander vergleichbar, so dass man sie zu den Mikroorganismen, zu den einzelligen, zellkernlosen Bakterien zählt.

Man muss sich vorstellen, dass ein einziger Prokaryot, also ein einzelliges Lebewesen ohne Zellkern, das erste Lebewesen gewesen sein könnte, das auf der Erde existierte. Es war ein von Membranen umschlossener Bereich, in dem sich Cytoplasma und eine genetische Information befanden, die in einer Nucleinsäure gespeichert war. Außerdem muss dieser Organismus Ribosomen besessen haben, an denen gemäß den «Vorgaben» des genetischen Codes Proteinmoleküle aus Aminosäuren aufgebaut wurden, die die Stoffumsätze des Prokaryoten leisteten. Wenn spezielle Proteine zur Verfügung standen, konnten sich die Zellen teilen, so dass aus einer Zelle zwei wurden. Danach dehnten sich die semipermeablen Membranen und Zellwände aus, bis sich die Zellen erneut teilten. Dabei muss sich bereits eine Diversität an Prokaryoten herausgebildet haben, die von jeweils anderen Stoffumsätzen lebten. Einige Prokaryoten lebten schon in einer frühen Evolutionsphase als einzellige Gebilde, andere schlossen sich zu Kolonien zusammen. In einer wässrigen Flüssigkeit, in der verschiedene anorganische und einfache organische Substanzen vorhanden waren, der sogenannten Ursuppe, nahmen die prokaryotischen Einzeller bestimmte Substanzen auf, entweder durch die semipermeablen Membranen, oder sie umschlossen größere Bestandteile mit ihrer elastischen Wand- und Membranstruktur: Die aufgenommenen Körper konnten von der gesamten Wand und den Membranen eingeschlossen werden und so in das Innere des Cytoplasmas gelangen. Das ist ein

normaler Vorgang, der sich heute bei Prokaryoten ebenfalls beobachten lässt. So entstehen runde oder annähernd runde Vesikel im Plasma der Zelle.

Einige Mikroorganismen betrieben Atmung, andere eine der vielen Formen von Gärung, wieder andere setzen andere Stoffe um. Und es entstanden Mikroorganismen, die Fotosynthese leisten konnten. Die ersten Lebewesen, in denen die Fotosynthese ablief, sind also prokaryotische Mikroorganismen. Sie lebten alle im Meer, denn außerhalb davon, an Land, waren die Temperaturen in der überwiegend Stickstoff und Kohlenstoffdioxid, aber keinen freien Sauerstoff enthaltenden Atmosphäre derart hoch, dass alles Leben sofort wieder zerstört worden wäre. Die Proteine wären denaturiert worden, und das bedeutet, sie hätten ihre Funktion eingebüßt: Die Prokaryoten hätten sich nicht mehr vermehren und wachsen können. Vor allem die zur Fotosynthese befähigten Prokaryoten sammelten sich aber an der Oberfläche des Wassers, in dem die Temperaturen ausgeglichener waren, nicht so extrem hoch wie außerhalb des Meers. An der Wasseroberfläche erhielten sie am meisten Kohlenstoffdioxid, das in der Luft in höherer Konzentration vorhanden ist. Dort aber waren sie auch am meisten den Sonnenstrahlen ausgesetzt. Die ultraviolette Strahlung, die auf die Organismen traf, löste Mutationen aus. An der Meeresoberfläche kam es daher zu einer besonders hohen Mutationsrate und daher zu einer besonders regen Bildung neuer Formen von Lebewesen.

Viele der Prokaryoten, die den ersten Lebewesen in den Meeren ähneln, kommen heute aber nicht mehr dort vor, wo sie zu Urzeiten ihre idealen Lebensbedingungen gefunden hatten. Ursprünglich lebten sie beispielsweise im sehr warmen oder sogar heißen Wasser der Meere, heute können sie nur noch in heißen untermeerischen Quellen, den Hydrothermalquellen, überleben. Oder sie existierten in einer sauerstofffreien oder sauerstoffarmen Atmosphäre. Heute ist eine mit Sauerstoff angereicherte Atmosphäre nahezu omnipräsent, daher können sie nur noch an den wenigen Orten leben, wo es keinen Sauerstoff gibt. Von den meisten ihrer ursprünglichen Lebensorte mussten sie verschwinden, weil es dort inzwischen viel Sauerstoff gibt.