



Leseprobe

Enrico Coen

Die Formel des Lebens

Von der Zelle zur Zivilisation

Übersetzt aus dem Englischen von Elsbeth Ranke

ISBN (Buch): 978-3-446-43204-8

ISBN (E-Book): 978-3-446-43209-3

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-43204-8>

sowie im Buchhandel.

# EINLEITUNG

## EINE FORMEL FÜR DEN WANDEL

Das Leben verfügt über eine bemerkenswerte Fähigkeit zum Wandel. Über Milliarden Jahre der Evolution bilden sich elementare Grundformen zu den komplexen Lebewesen von heute heraus. Innerhalb von neun Monaten verwandelt sich eine unscheinbare Eizelle in ein menschliches Wesen. In wenigen Jahren wird ein strampelndes Baby zu einem gehenden, sprechenden und vernünftig denkenden Erwachsenen. Und innerhalb von 10 000 Jahren entwickeln sich menschliche Gesellschaften von kleinen Stammesgemeinschaften zu den komplexen Städten und Kulturen von heute. Es ist, als würde es dem Leben Spaß machen, sich vom Einfachen zum Komplexen hin zu bewegen.

Es ist ein verlockender Gedanke, dass diese Kreativität des Lebens auf einem einzigen grundlegenden Mechanismus beruhen könnte. Bei genauerem Hinsehen aber lassen sich vier sehr unterschiedliche Mechanismen ausmachen. Nach heutigem Wissen sind alle Lebewesen auf unserer Erde dadurch entstanden, dass Einzelne über Generationen hinweg um Überleben und Fortpflanzung kämpften, also durch den Prozess der Darwin'schen Selektion. Auf einem ganz anderen Mechanismus beruht die Entwicklung einer Eizelle: Bei der wiederholten Teilung einer befruchteten Eizelle werden im Embryo Muster aufgebaut, indem Zellen miteinander Signale austauschen und aufeinander reagieren. Biologische Entwicklung ist also Musterbildung innerhalb eines heranwachsenden Embryos und nicht Wettkampf um den Reproduktionserfolg. Wieder ein anderer Mechanismus liegt dem Lernen zu Grunde. Wenn ein Kind mit seiner Umwelt

interagiert, verändern sich die neuronalen Verbindungen in seinem Gehirn. Einige Verknüpfungen werden gelöst oder geschwächt, während andere erst entstehen oder verstärkt werden, sodass neue Zusammenhänge in der Umwelt erfasst werden können. Lernen ist die Modifizierung von Interaktionen und Verknüpfungen zwischen Nervenzellen. Und schließlich der kulturelle Wandel: Der Mensch interagiert in sozialen Gruppen und schafft damit immer fortschrittlichere Werkzeuge, Produkte und Erkenntnisse. Kultur ist ein soziales Phänomen, das von menschlichen Verhaltens- und Interaktionsweisen abhängt.

Gemeinsamkeiten zwischen der Funktionsweise dieser verschiedenen Prozesse springen nicht ins Auge. Offenbar laufen sie alle völlig unterschiedlich ab: Die Evolution durch differenziellen Fortpflanzungserfolg, die biologische Entwicklung über Wachstum und Musterbildung der Zellen, das Lernen durch Veränderungen in den Verknüpfungen von Nervenzellen, und kultureller Wandel über menschliche Interaktion. Und doch führen alle vier, ausgehend von einfacheren Anfängen, zur Herausbildung hochgradig organisierter Strukturen.

Seltsam, dass die Natur vier verschiedene Wege entwickelt haben soll, um aus dem Einfachen heraus das Komplexe zu generieren. So wie die Physik nach einer »Weltformel« sucht, einer *Theory of Everything*, die sämtliche grundlegenden physikalischen Theorien miteinander verknüpfen soll, könnte man auch von Biologen erwarten, nach einer einheitlichen Theorie dafür zu suchen, wie in lebenden Systemen Organisation entstehen kann; eine Theorie, die Evolution, biologische Entwicklung, Lernen und kulturellen Wandel umfassen würde. Solche Versuche zur Vereinheitlichung wurden in der Vergangenheit durchaus unternommen. Im 19. Jahrhundert etwa postulierte der Jenaer Darwinist Ernst Haeckel einen direkten Zusammenhang zwischen Evolution und biologischer Entwicklung; ein Embryo würde demnach im Lauf seiner Ontogenese die gesamte Evolutionsgeschichte wiederholen. Menschliche Embryonen würden im Mutterleib also ein Fischstadium, ein Reptilienstadium und so weiter durchlaufen. Diese Vorstellung wurde freilich später widerlegt.<sup>1</sup> In jüngere Zeit fällt der Versuch von Gerald Edelman, in seiner Theorie des »neuronalen Darwinismus« Evolution und Lernen zu vereinen.<sup>2</sup> In den 1980er Jahren postulierte Edelman, im Lernprozess

erfolge im Hirn eine Selektion neuronaler Muster, ähnlich der natürlichen Selektion von Individuen. Diese Vorstellung erregte aber heftige Kritik. Offenbar ist es äußerst schwierig, eine einheitliche Erklärung für die unterschiedlichen kreativen Prozesse zu finden.

Vielleicht kennt die Natur wirklich vier völlig unterschiedliche Prozesse der Selbstorganisation, und wir sollten nicht weiter nachfragen. Ich halte diesen Standpunkt aber für verfehlt. In diesem Buch möchte ich darlegen, wie uns die jüngsten Fortschritte in unserem wissenschaftlichen Verständnis von Evolution, biologischer Entwicklung und Lernen Zugang zu einem einheitlichen Gesamtbild davon verschafft haben, wie lebende Systeme sich selbst verändern können, und das von der ersten Bakterie bis zur Erschaffung eines künstlichen Meisterwerks. Erstmals können wir eine gemeinsame Reihe von Parametern und Mechanismen ausmachen, die derartige Wandlungsprozesse bedingen.

Wozu soll es aber gut sein, solche gemeinsamen Parameter ausfindig zu machen? Eigentlich ist doch die Erforschung von Evolution, biologischer Entwicklung, Lernen und Kultur bisher ganz gut zu rechtgekommen, ohne sich um übergreifende Bezüge zu kümmern. Was gewinnen wir, wenn wir diese vier Vorgänge durch dieselbe Brille betrachten? Nehmen wir einmal an, wir vergleichen das Schmelzen von Eis mit dem Kochen von Wasser. Beide Vorgänge unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht: Beim ersten wird ein Feststoff bei etwa 0 °C in eine Flüssigkeit verwandelt, beim zweiten dagegen wird bei 100 °C eine Flüssigkeit zu einem Gas. Und doch lassen sich an diesen beiden Umwandlungen viele gemeinsame Merkmale feststellen: Bei beiden verändern sich Stärke und Energie der Wechselwirkung zwischen Wassermolekülen. Beides sind unterschiedliche Ausprägungen desselben grundlegenden Prozesses. Mit dieser vereinheitlichenden Perspektive gewinnen wir ein tieferes Verständnis für die Abläufe, als wir es durch die getrennte Beobachtung beider Vorgänge erhielten. Und wenn wir die Gemeinsamkeiten hinter verschiedenen Umwandlungsprozessen des Lebens betrachten, kann uns das helfen, das Wesentliche an jedem dieser Vorgänge zu verstehen, und uns zugleich einen breiteren Überblick verschaffen.

Für Evolution, biologische Entwicklung und Lernen mag dieser Ansatz vernünftig sein, da alle drei Prozesse intensiv erforscht wer-

den. Ihn auch auf den kulturellen Wandel anzuwenden, mag dagegen weit hergeholt erscheinen. Wir neigen zu der Ansicht, dass menschliche Kreativität und Kultur so kompliziert und so spezifisch human sind, dass die Naturwissenschaft dazu kaum etwas beizutragen hat. Betrachten wir aber die Wandlungsprozesse des Lebens als Gesamtheit, so erkennen wir, dass die Naturwissenschaft darin eine Doppelrolle einnimmt. Die Naturwissenschaft verleiht uns einerseits Wissen über die Welt und unseren Platz darin und gibt unserer Kultur einen Rahmen. Andererseits ist die Naturwissenschaft selbst ein Produkt der Kultur, das Ergebnis der jahrelangen kollektiven Arbeit vieler Menschen, die ihre Umwelt erklären wollen. Nur wenn wir alle Wandlungsprozesse des Lebens gemeinsam betrachten, können wir uns dieser Dualität unseres Handelns bewusst werden, in der die Wissenschaft unsere Kultur sowohl umrahmt als auch von ihr umrahmt wird. Damit gewinnen wir ein weiteres Verständnis nicht nur dafür, wie kultureller Wandel entsteht, sondern auch dafür, wie er zu unserer biologischen Vergangenheit in Bezug steht.

Warum aber haben wir so lange gebraucht, um zu dieser kollektiven Perspektive zu gelangen?

## GESCHICHTE UND FORM

Auf den ersten Blick sind Krieg und Schach etwas völlig Verschiedenes. Im Krieg bekämpfen und töten Völker einander, während beim Schach zwei Personen friedlich an einem Spieltisch sitzen und Holzfiguren umherschieben. Doch trotz aller offensichtlichen Unterschiede besteht zwischen den beiden Tätigkeiten ein enger Zusammenhang. Zunächst einmal historisch: Der Ursprung des Schachspiels lässt sich zurückverfolgen bis zu dem Spiel Chatrang, das im 5. und 6. Jahrhundert in Persien gespielt wurde<sup>3</sup> und selbst vielleicht auf das indische Spiel Chaturanga zurückgeht. Wie das moderne Schach war Chatrang ein Spiel für zwei Spieler mit 32 Steinen auf einem Brett mit 64 Feldern. Jeder Spieler verfügte über eine Armee aus zwei Elefanten, zwei Pferden, zwei Wagen und acht Fußsoldaten. Das entsprach den damals wichtigsten Kampfeinheiten – im modernen Schach werden sie durch Läufer, Springer, Türme und

Bauern ersetzt. Es gab auch einen König und einen Minister (die moderne Königin). Ziel des Spiels war es, den gegnerischen König zu fassen oder in die Falle zu locken. Das Spiel veranschaulichte, wie ein Heer ein anderes mit Strategie und List besiegen und überwältigen konnte. Chatrang war in seiner Zeit genauso ein Kriegsspiel, wie es sie heute für die Playstation gibt.

Schach und Krieg lassen sich auch in Zusammenhang bringen, wenn man von der historischen Verbindung absieht. Bei beiden findet ein erbitterter Wettkampf statt, in dem die Gegner versuchen, sich gegenseitig zu besiegen. Bei beiden geht es um Territorien, die die Gegner zu besetzen oder zu kontrollieren versuchen. Bei beiden wird versucht, Mitglieder des gegnerischen Lagers zu vernichten oder gefangen zu nehmen. Und bei beiden ist eines der wichtigsten strategischen Elemente die Kooperation zwischen den einzelnen Einheiten eines Lagers, die sich bei der Planung eines Angriffs oder bei der Verteidigung gegenseitig unterstützen. Abgesehen von ihrer geschichtlichen Verbindung weisen Krieg und Schach also auch formale Ähnlichkeiten auf.

Diese beiden Bezugsmöglichkeiten – historisch und formal – hängen auch selbst miteinander zusammen. Die formalen Parallelen wie Wettkampf und Territorialität spiegeln den Ursprung des Schachspiels als Spiel, das die Kriegsführung nachahmt. Dabei werden nicht alle Eigenschaften des Krieges im Schachspiel widergespiegelt – der physische Tod von Menschen etwa gehört nicht zum Schach, genauso wenig wie der Einfluss unterschiedlicher Lage- und Umweltbedingungen. Schach wird immer unter vollkommen kontrollierten Anfangsbedingungen und auf derselben Anordnung von Quadraten gespielt, und Faktoren wie Wetter oder Sichtverhältnisse spielen dabei keine Rolle. Schach ist nicht einfach eine Widerspiegelung des Krieges; es ist eine Abstraktion des Krieges, die eine bestimmte Reihe von Kriterien erfasst. Und genau diese wesentlichen Merkmale bedingen die formalen Ähnlichkeiten.

Die verschiedenen Wandlungsprozesse des Lebens sind vielleicht ebenfalls historisch oder formal verbunden. Das Leben auf der Erde begann vor etwa 3,8 Milliarden Jahren, sich zu entwickeln, und vor etwa 3,5 Milliarden Jahren war unser Planet von einer vielfältigen Ansammlung von Zellen bevölkert.<sup>4</sup> In diesem Stadium der Evolution gab es noch keine komplexen vielzelligen Organismen. Sie

entstanden erst später, im Lauf der letzten Milliarde Jahre, und zwar im Entwicklungsprozess aus befruchteten Eizellen. Zum Entwicklungsprozess, das heißt zur Umwandlung von Eizellen zu vielzelligen Organismen, kam es also erst lange nach dem Beginn der Evolution – so wie das Schachspiel erst entstand, als Menschen sich bereits seit vielen Jahren bekriegten.

Auf ähnliche Weise kam es zum Lernen erst nach der biologischen Entwicklung. Die ersten vielzelligen Lebewesen, die sich auf unserer Erde herausbildeten, waren kaum lernfähig. Sie hatten keine Gehirne, mit denen sie neue Verhältnisse in ihrem Umfeld erfassen konnten. Komplexe Nervensysteme bildeten sich erst später heraus, und zwar durch Veränderungen in der Embryonenentwicklung. Ein Teil der biologischen Entwicklung bestimmter Lebewesen widmete sich fortan der Herausbildung eines Gehirns mit Nervenbahnen als Verbindungswegen. Parallel dazu entstand die Fähigkeit, aus der Umwelt zu lernen. Diese Fähigkeit teilen wir heute mit vielen unserer Verwandten, von der Nacktschnecke über den Hund bis zum Schimpansen. Lernen kam also nach der biologischen Entwicklung, so wie diese nach der Evolution kam.

Als letzter Umwandlungstypus des Lebens entstand der kulturelle Wandel. Als der Mensch sich in sozialen Gruppen auf der Erde ausbreitete und lernte, wie er andere Lebewesen zum eigenen Nutzen zähmen und einsetzen konnte, schuf er einen Nahrungsüberfluss. Weil er außerdem zum Lernen und zur Innovation fähig war, konnten die Gesellschaften in diesem Überfluss vielfältige menschliche Spezialisierungen herausbilden, etwa Bauarbeiter, Soldaten, Künstler, Lehrer und Verwalter. Das wiederum führte zur Herausbildung immer komplexerer kultureller Systeme. Das Aufkommen der Kulturen begann erst vor 10 000 Jahren, also lange nach der Herausbildung der Lernfähigkeit. Kultureller Wandel ist damit deutlich jünger als alle anderen genannten Prozesse.

Die historischen Beziehungen scheinen klar – zuerst die Evolution, dann die individuelle biologische Entwicklung, dann das Lernen und schließlich der kulturelle Wandel. Diese zeitliche Abfolge gibt die Abhängigkeit jedes Prozesses von seinem Vorgänger wieder. Die Fähigkeit von Eizellen, sich zu vielzelligen Lebewesen zu entwickeln, entstand im Prozess der Evolution. Die Lernfähigkeit setzt zunächst die Entwicklung eines komplexen Nervensystems im Em-

bryo voraus. Und den kulturellen Wandel ermöglicht erst die Lernfähigkeit des Menschen. Die historische Kette spiegelt eine Folge von Abhängigkeiten.

Die historischen Bezüge sind ganz linear – komplizierter wird es, wenn wir uns den formalen Bezügen zuwenden. Ganz allgemein lässt sich zwischen all unseren Umwandlungen zumindest eine formale Ähnlichkeit feststellen: Immer geht es um eine Entwicklung vom Einfachen zum Komplexeren. Damit aber stellt sich nun die tiefer greifende Frage, was es mit dieser pauschalen Ähnlichkeit auf sich hat. Gibt es gemeinsame formale Kriterien, oder läuft jeder Prozess nach vollkommen unterschiedlichen Prinzipien ab? Versuche, formale Ähnlichkeiten aufzuzeigen, waren in der Vergangenheit stets ausgesprochen erfolglos. Das ist hauptsächlich auf zwei Fehlertypen zurückzuführen.

Erstens wird häufig das Gewohnte mit dem Grundlegenden verwechselt. Als Menschen sind wir alle bestens mit der Vorstellung des Entwerfens und Erschaffens von Gegenständen vertraut – wir stellen Kleider her, Möbel und Häuser. So scheint es ganz natürlich, den Begriff des *Erschaffens* als allgemeines Modell für die Wandlungsprozesse des Lebens zu verwenden. Ein Baum oder ein Frosch könnte durch einen schöpferischen Akt entstanden sein, genauso wie eine Uhr von einem Uhrmacher erschaffen wird. Statt eines Menschen bräuchten wir dafür zwar einen mächtigeren, göttlichen Schöpfer, doch das Prinzip, nach dem ein externes Agens Entwurf und Herstellung übernimmt, wäre dasselbe. Diese Auffassung hat eine lange Tradition und findet sich in vielen Religionen. Dank unserer inzwischen erlangten wissenschaftlichen Einsicht können wir heute aufzeigen, wo der Haken an dieser Erklärung liegt. Die Fähigkeit des Menschen, Gegenstände zu entwerfen und zu erschaffen, ist eine komplexe Eigenschaft, die sehr viel jünger ist als die Evolution selbst. Den Begriff des Erschaffens als allgemeines Erklärungsmodell zu verwenden, bedeutet, Komplexität zur Bedingung ihrer selbst zu machen. In diese Falle tappen wir nur deshalb, weil uns Menschen das Erschaffen so geläufig ist und wir nicht realisieren, dass dieser komplexe Vorgang selbst auf einer ganzen Folge anderer Wandlungsprozesse beruht.

Erst nach vielen Generationen konnte die Wissenschaft diese Irrmeinung hinter sich lassen. Wesentlich dabei war Darwins Identifi-

zierung eines einfachen Mechanismus, der natürlichen Selektion, die die Komplexität und Vielfalt der Lebewesen auf unserem Planeten erklären konnte. Statt auf einen göttlichen Schöpfer zurückzugreifen, vollzieht sich die Evolution des Lebendigen unaufhaltsam durch die Art und Weise, wie sich Organismen fortpflanzen und mit ihrer Umwelt interagieren. Der Kampf um die Durchsetzung dieser Auffassung hat dauerhafte Spuren hinterlassen. Seither wird grundsätzlich unterschieden zwischen dem Begriff der menschlichen Betätigung (Entwurf und Erschaffen) einerseits und dem von biologischen Prozessen wie der Evolution andererseits. Es handelt sich dabei um sehr unterschiedliche Dinge, und sie miteinander zu vergleichen, ist sehr riskant.

Einen zweiten Fehlertyp bei der Suche nach formalen Ähnlichkeiten können wir wieder mit einem Ausflug zu unserem Schachspiel illustrieren. Betrachten wir das folgende Gespräch zwischen einem Schachlehrer und einem Anfänger:

*Lehrer: »Diese Spielfigur, der Springer, sieht aus wie ein Pferd, weil er über andere Spielfiguren hinwegspringen kann.«*

*Schüler: »Aber wo sind denn seine Beine?«*

*Lehrer: »Er braucht keine Beine; der Spieler kann ihn springen lassen.«*

*Schüler: »Und wie macht der Spieler das?«*

*Lehrer: »Er nimmt den Springer und hebt ihn über die anderen Figuren hinweg.«*

*Schüler: »Aber wenn der Spieler selbst den Sprung macht, wozu braucht er dann ein Pferd?«*

Zu dem Missverständnis kommt es, weil der Schüler die Ähnlichkeit zwischen einer Schachfigur und einem Pferd zu wörtlich nimmt. Pferde und Springer sind lediglich abstrakt oder symbolisch verbunden. Man kann ja wirklich die Regeln des Schachspiels lernen, ohne je von Pferden zu reden – indem man einfach nur lernt, wie der Springer sich bewegen darf. Das Spiel wäre genau dasselbe, wenn der Springer, statt wie ein Pferd, aussähe wie eine Teekanne – worauf es ankommt, ist lediglich die Gestalt seines Spielzugs. Werden Vergleiche zwischen Springern und Pferden allzu wörtlich genommen,

kann das vom Wesentlichen ablenken; eine fehlgeleitete Analogie ist eher verwirrend als hilfreich.

Zu solchen Fehlern kam es beim Vergleich verschiedener Typen von Wandlungsprozessen des Lebens immer wieder. Ernst Haeckels Vorstellung, eine befruchtete Eizelle wiederhole bei ihrer biologischen Entwicklung die Evolutionsgeschichte, ist ein typisches Beispiel dafür. Natürlich besteht ein Zusammenhang zwischen dem Prozess, wie eine Eizelle sich entwickelt, und dem der Evolution; denn erst durch die Evolution ist der Prozess der biologischen Entwicklung überhaupt entstanden. Doch mit dem Versuch, diesen Zusammenhang so weit zu treiben, dass der Entwicklungsprozess den Weg der Evolution buchstäblich nachgeht, schießt Haeckel schließlich weit über das Ziel hinaus. Er verfehlt das angemessene Abstraktionsniveau und stellt somit am Ende falsche, nutzlose Vergleiche auf. Edelmans Theorie, das Gehirn arbeite nach Darwin'schen Prinzipien, wurde in ähnlicher Weise kritisiert, weil er einen zu engen Vergleich zwischen zu weit auseinander liegenden Prozessen anzustellen versuchte.

Um auf gemeinsame Prinzipien schließen zu können, müssen wir auf einem angemessenen Abstraktionsniveau arbeiten. Und das erreichen wir nur, wenn wir klar herausstellen, was wir womit vergleichen. Krieg und Schach können wir nur dann sinnvoll vergleichen, wenn wir die Bedeutung beider Phänomene erkannt haben. Wir müssen weder Schach- noch Militärexperten sein, aber wir müssen sehr wohl eine allgemeine Vorstellung davon haben, wie Brettspiele und militärische Auseinandersetzungen funktionieren. Auf dieser Grundlage können wir sowohl die Ähnlichkeiten als auch die Unterschiede zwischen beiden Prozessen benennen. Bei Krieg wie bei Schach geht es um Territorien – aber wir sind uns dessen bewusst, dass Territorium dabei jeweils etwas ganz anderes bedeutet. Beim Krieg geht es um Land, während es sich beim Schach um ein Gebiet auf einem Spielbrett handelt.

Genauso müssen wir, um auf die gemeinsamen Prinzipien beim Wandel des Lebendigen schließen zu können, die Funktionsweise jedes einzelnen dieser Wandlungsprozesse umfassend begriffen haben. Möglich wurde dies erst kürzlich durch Fortschritte in der wissenschaftlichen Erkenntnis, insbesondere in den Bereichen biologische Entwicklung und Lernen. Frühere Vergleiche scheiterten

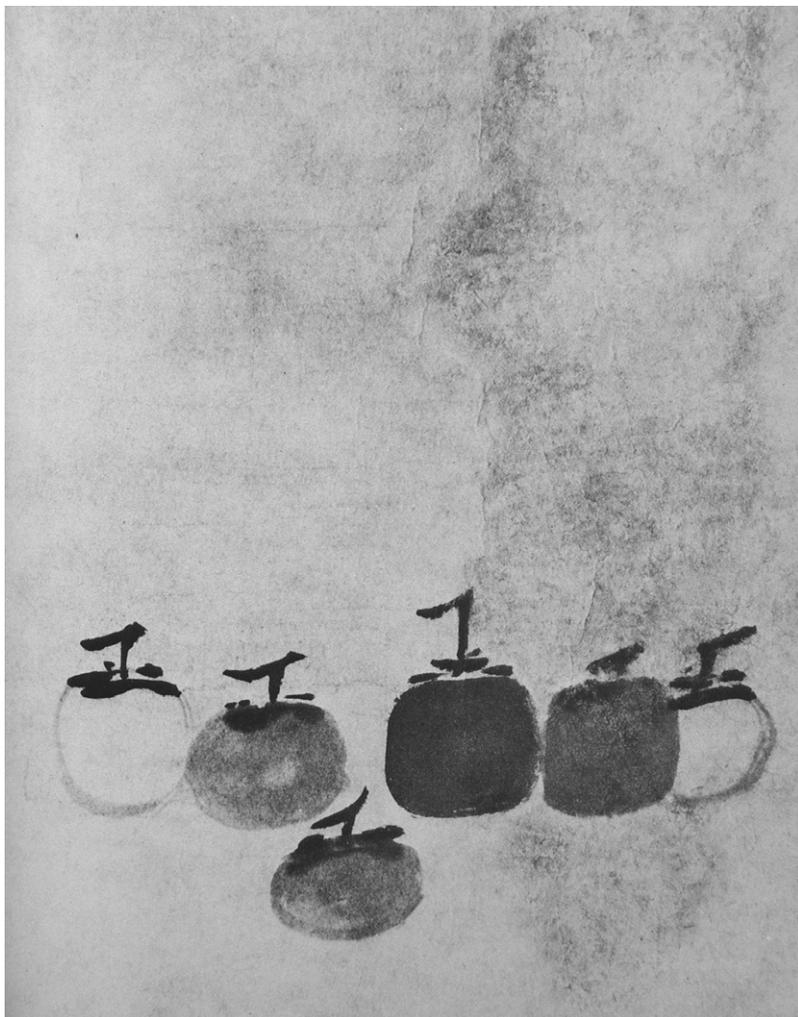
am fehlenden Wissen über die einzelnen Prozesse: Wir verwechselten das Gewohnte mit dem Grundlegenden oder arbeiteten auf einem unangemessenen Abstraktionsniveau. Wie können wir nun bei der Behandlung dieser Frage vorgehen?

## DIE FORMEL DES LEBENS

Der chinesische Kunsttheoretiker Xie He formulierte im 6. Jahrhundert sechs Prinzipien, nach denen sich die Qualität eines Gemäldes beurteilen lässt.<sup>5</sup> Grob übersetzt sind das: Lebendigkeit, Pinselduktus, natürliche Darstellung, Farbgebung, Komposition und Kopieren. Mit Ausnahme der Farbe lassen sich all diese Aspekte an *Sechs Kaki-Früchte* (Abb. 1) illustrieren, einer Zeichnung des Mönchs Mu-hsi aus dem 13. Jahrhundert. Die sechs Kriterien sind voneinander nicht völlig unabhängig. Ihre Lebendigkeit verdankt Mu-hsis Zeichnung zum Teil dem lebendigen Pinselduktus. Und die Komposition beruht auf einem Arrangement von Früchten, die vielleicht kopiert wurden. Es ging Xie He also weniger um eine Reihe unabhängiger Kriterien als um die Bereitstellung einiger einander beeinflussender Schlüsselbegriffe, die er für die Beurteilung der Malerei für hilfreich hielt. Andere würden vielleicht eine andere Liste aufstellen – ob wir Xie Hes Auswahl gutheißen oder nicht, hängt davon ab, inwiefern sie uns bei der Organisation unseres kunstgeschichtlichen Wissens von Nutzen ist.

Dasselbe gilt für die Organisation unserer Überlegungen. Unser Verständnis von Prozessen wie Evolution, biologische Entwicklung, Lernen und kultureller Wandel lässt sich auf viele Weisen darstellen. Ich wähle hier einen bestimmten Blickwinkel, der einige übergreifende Kriterien hervorhebt. Sieben Schlüsselbegriffe möchte ich aufstellen, die den Prozessen von der Evolution einer Bakterie bis zur Funktionsweise unseres Gehirns zu Grunde liegen. Die Zahl sieben ist dabei frei von aller Mystik; die sieben Prinzipien ergeben sich von ganz allein, so wie Xie He für die Malerei eben sechs Prinzipien für notwendig hielt.

Unsere sieben Prinzipien sind die Parameter der Formel, die ich die *Formel des Lebens* nenne. Diese Formel beschreibt wie eine Rezeptur das Zusammenspiel der sieben Prinzipien. Sie sind die Zutaten



(1) *Sechs Kaki-Früchte*, Mu-hsi, um 1269. Daitoku-ji, Kyoto.

für das Rezept, nach dem sich das Leben seit Anbeginn selbst organisiert. Die Evolution unterschiedlicher Organismen, die Entwicklung von der Eizelle zum Erwachsenen, das Erlernen neuer Umweltbeziehungen und die Herausbildung der menschlichen Kultur – alles das sind unterschiedliche Manifestationen der einen Formel des Lebens. Sie alle beruhen auf dem einen Rezept, wie mit denselben sieben grundlegenden Zutaten zu verfahren ist. Wie Xie Hes Kriterien für die Malerei sind auch die sieben Parameter in der Formel des Lebens nicht unabhängig voneinander. Wir werden sehen, wie sie sich gegenseitig beeinflussen und einander befruchten. Es handelt sich nicht um separate Faktoren; vielmehr liefern sie eine ganze Reihe zusammenhängender Perspektiven, in deren Kombination wir eine einfache Grundform für die Wandlungsprozesse des Lebens erkennen können. Auch ihren historischen Zusammenhang werden wir betrachten. Denn wie bei Krieg und Schach ist in der Geschichte des Lebens ein Zusammenspiel von Geschichte und Form erkennbar.

Für die Ausarbeitung dieses Blickwinkels habe ich mehrere Jahre gebraucht. Erstmals stieß ich auf die damit verbundenen Fragen, als ich ein früheres Buch verfasste, *The Art of Genes*.<sup>6</sup> Hauptthema dieses Buchs war die Entwicklungsbiologie, aber es griff auch andere Prozesse wie Evolution und Kunst auf. Das Buch stellte diese Prozesse in historischen oder analogen Zusammenhang zur biologischen Entwicklung. Angesichts der vielen Berührungspunkte begann ich aber zu überlegen, ob möglicherweise auch fundamentalere Verbindungen bestanden. Diese Gedanken kristallisierten sich weiter heraus, als ich das Buch beendet hatte und über meine wissenschaftliche Forschung mit den Vorstellungen der Computerwissenschaft in Berührung kam. Ich stieß auf einen aufschlussreichen Aufsatz des Neuroinformatikers Christoph von der Malsburg von 1990, in dem er drei Grundprinzipien identifizierte, die selbstorganisierenden Systemen gemein sind.<sup>7</sup> Er bezog sich vor allem auf Hirnfunktion und biologische Entwicklung, stellte aber auch die Bedeutung dieser Prinzipien für die Evolution heraus. Seine Ausführungen veranlassten mich, aus neu gewonnener Distanz auf die Grundlagen des biologischen Denkens zurückzublicken, und das besonders im Lichte der Entdeckungen der letzten Jahre.

Ich zerlegte die Theorien in jedem Einzelbereich der Biologie in ihre wesentlichen Grundelemente und untersuchte sie von neuem

nach möglichen Gemeinsamkeiten. Natürlich kann man, wenn man nur genau genug sucht, an jeder Kombination von Prozessen irgendwelche trivialen Gemeinsamkeiten finden. Überraschenderweise aber waren die Gemeinsamkeiten, die sich hier auftraten, nicht oberflächlich, sondern betrafen wirklich den Kern jedes Prozesses. Sie definierten die zentralen Wechselwirkungen, die jeweils die Umwandlungen herbeiführten. Ich war auf eine tiefere, einheitlichere Sicht auf die Wandlungsprozesse des Lebens gestoßen: auf unterschiedliche Manifestationen einer gemeinsamen Urformel.

Damit uns deutlich wird, was die Formel des Lebens bedeutet, müssen wir verstehen, wie sie sich auf die einzelnen Umwandlungstypen auswirkt. Zu Anfang betrachten wir die Evolution (Kapitel 1 und 2). Die Evolution ist die Mutter aller anderen Wandlungsprozesse und ermöglicht uns ein erstes klares Verständnis davon, wie die Formel des Lebens funktioniert. Dann beschäftigen wir uns mit der biologischen Entwicklung und der Frage, wie eine mikroskopisch kleine Eizelle sich in eine Eiche oder ein Menschenkind verwandeln kann (Kapitel 3 bis 5). Erst seit den 1980er Jahren haben wir allmählich solide Erkenntnisse darüber gewonnen, wie das überhaupt möglich ist. Auf Basis dieses Wissens werden wir sehen, dass bei aller Unterschiedlichkeit die Prinzipien der biologischen Entwicklung etliche auffällige Parallelen zu denen der Evolution aufweisen. Es ist dieselbe Formel, gewandelt in ein anderes Äußeres. Als nächstes wenden wir uns dem Lernen zu und untersuchen zunächst, wie Organismen wie Schnecken und Pflanzen auf Veränderungen in ihrer Umwelt reagieren (Kapitel 6). Diese grundlegenden Reaktionsmechanismen liefern uns die Parameter des Lernens. Und indem wir näher betrachten, wie Lernen funktioniert, werden wir sehen, dass es auf derselben Formel beruht wie Evolution und biologische Entwicklung (Kapitel 7). Über ebendiese Formel lässt sich auch darstellen, wie Tiere lernen zu handeln, ihre Umwelt wiederzuerkennen und sie zu interpretieren. Dies ist das Fundament für die menschliche Intelligenz und Kreativität (Kapitel 8 und 9). All diese Instanzen des Lernens sind in Evolution und biologische Entwicklung eingebettet und illustrieren damit, wie eine Ausformung der Formel des Lebens eine andere umrahmen kann (Kapitel 10).

Schließlich kommen wir zum kulturellen Wandel (Kapitel 11 und 12). Obwohl er unter den Wandlungsprozessen des Lebens wohl den

komplexesten darstellt, fühlen wir uns damit am vertrautesten, weil wir alle aktive Mitglieder der Gesellschaft sind. So lassen sich viele altbekannte Faktoren identifizieren, die am kulturellen Wandel mitwirken, etwa menschliche Kreativität, charismatische Personen, Machtkämpfe, die wirtschaftliche Entwicklung und Veränderungen in der Umwelt. Das alles fällt in Fachgebiete von Geschichte, Soziologie und Ökonomie, und es mag so aussehen, als hätte die Biologie hier nicht viel beizutragen. Und doch lässt sich mithilfe der Formel des Lebens auch der kulturelle Wandel aus einer weiteren Perspektive betrachten. Statt ihn als isolierten Prozess zu sehen, der einen unüberwindbaren Graben zwischen den Menschen und seine tierischen Verwandten zieht, werden wir feststellen, dass er formal wie historisch mit den anderen Prozessen verbunden ist. Kultureller Wandel ist eine vierte Ausformung der Formel des Lebens, und zwar eine, die auf den anderen drei aufbaut und sie alle integriert.

Wir werden für diese Darstellung einen weiten Blickwinkel benötigen, zugleich aber wissenschaftlich einwandfrei argumentieren müssen. Deshalb schreibe ich gelegentlich nicht vor wissenschaftlichen Details zurück, versuche sie aber immer so darzustellen, dass sie einem breiten Publikum verständlich bleiben. Leser mit wenig oder gar keiner naturwissenschaftlichen Vorbildung möchte ich ermuntern, an verzwickten Stellen trotzdem weiterzulesen, denn die Grundprinzipien bleiben immer dieselben und werden mit der Zeit einleuchten. Auch Leser mit solideren wissenschaftlichen Grundkenntnissen werden dieses Buch hoffentlich mit Gewinn lesen, weil hier ganze Teilgebiete der Naturwissenschaft aus einer neuen, einheitlichen Perspektive heraus betrachtet werden. Ein Fachmann aus einem dieser Gebiete wird vielleicht bemängeln, dass sie sehr selektiv behandelt sind. Das aber ist unvermeidlich, weil wir ja viele Disziplinen und ihre Verbindungen abdecken wollen – ich hoffe also, dieser Leser wird mir meine zahlreichen Auslassungen verzeihen.

Zur besseren Verständlichkeit werde ich die menschliche Kreativität auch in den naturwissenschaftlichen Abschnitten nicht außen vor lassen, sondern sie im ganzen Buch immer wieder aufgreifen. Zur Illustration der Prinzipien, Themen oder Gedanken, die ich vorstelle, werde ich häufig auf Werke der bildenden Kunst zurückgreifen. Die Gemälde liefern uns einen visuellen Ansatzpunkt und erinnern uns zudem daran, wie viele Perspektiven auf die Dinge möglich sind.

Gegen Ende des Buches schließlich werden die künstlerischen und naturwissenschaftlichen Themen zusammenfinden. Dann haben wir bewiesen, dass Evolution, biologische Entwicklung, Lernen und Kultur einen großen Kreislauf bilden, eine Abfolge aufeinander bezogener Wandlungen, über die die Formel des Lebens auf sich selbst zurückblicken kann.