

Zusammenfassung

aus dem Buch

MATERIE UND ENERGIE

Einführung in die Thermodynamik

Ein ehrgeiziges Ziel

Die Thermodynamik gilt als ein schwieriges Fach. Und das ist sie in der Tat. Es ist schwierig, weil sie mit Begriffen umgeht, die in die Tiefe unserer Kenntnisse über die Natur gehen. Wenn man tatsächlich verstehen will, was "unter der Oberfläche", was unter einem Wort, das einen Begriff symbolisiert, was unter einer mathematischen Formel, die den Begriff definiert versteckt ist, dann muss man sich Mühe geben.

Mühe, die belohnt wird durch das Wissen und die Erkenntnis der grundlegenden Gesetzmäßigkeiten, die den Gang des Kosmos bestimmen. Wir müssen uns Mühe geben, um die Antwort zu finden auf die grundsätzlichen Fragen, die in jedem von uns stecken, auch wenn wir sie nicht vergegenwärtigen, weil wir sie noch nicht klar formuliert haben oder verdrängt haben, weil uns das Leben andere Prioritäten auferlegt.

Die heutige Lebensart jedoch ist konträr zu der Anstrengung, zu der Bemühung. Genauer gesagt, konträr gegen jede Bemühung außer der Bemühung zum Geldergattern. Die ist erlaubt. Der Mensch darf sich Mühe geben, aber nur um mehr Geld zu sammeln. Jegliche andere Anstrengung muss er auf jeden Fall meiden. Warum sich Mühe geben? "Wir drücken einen Knopf", "wir setzen eine Formel ein", "wir benutzen ein Programm im Computer", "wir vertreten eine vorgefertigte Meinung". Das ist das Diktat der Zeit.

Wenn nun jemand nicht einfacher Nutzer bleiben will, aber er will auch noch die Möglichkeit haben, eventuell selbst Schöpfer zu werden, wenn er nicht einfach lernen will (lernen tut der Papagei auch, allerdings mit Mühe ebenfalls der Arme), sondern auch **verstehen und beurteilen**, der wird sich Mühe geben müssen. Er muss denken. Und es gibt nichts Mühevolleres als Denken. Das wissen sie sehr gut alle diejenigen, die uns jeden Tag zu überzeugen versuchen, dass wir bloß auf sie zu hören brauchen, um nicht mehr denken zu müssen.

Für diejenigen, die keine Angst vom Denken haben und verlangen (in einer Welt konzipiert für folgsame Verbraucher), das Recht zu besitzen, Fragen zu stellen, für die ist dieses Buch geschrieben. Sein Ziel ist das, was sein Titel besagt: den Leser in die Begriffe der

Thermodynamik einzuführen, ihm helfen, die Beziehung zwischen Materie und Energie zu verstehen, ihm helfen die Gesetze zu begreifen, welche die Phänomene beherrschen.

Um den Leser in die streng logische Beweisführung einzuführen, wurde besondere Sorge getragen, jede neue Überlegung auf die Basis der vorherigen zu stützen. Dies führte zu einer Schreibweise mit vielen Frage- und Nebensätzen, mit vielen Klammern und vor allem mit vielen Fußnoten, die keinem gefallen. Sie waren aber notwendig, um den Lauf der Gedankengänge nicht zu unterbrechen, der sogar von Kapitel zu Kapitel nach Möglichkeit aufrechterhalten wurde.

Eine Besonderheit des Buches stellt sein Anhang dar. Der Leser, der breitere Interessen hat, wird dort Gedanken vorfinden, die außerhalb der engen Grenzen der Thermodynamik liegen. Dieser Anhang, gemeinsam mit einigen Grundbegriffen, die nötig für seine Erläuterung waren, ist ins Internet übertragen, weil dort der Text gerade Leser ansprechen soll, die ohne spezielles Studium der Thermodynamik grundlegende Fragen über die Natur des Kosmos stellen.

Um den Text zugänglich zu halten auch für diejenigen, die die entsprechende Gewöhnung nicht besitzen, ist in dieser Zusammenfassung die ganze Mathematik weggelassen, die für den Beweis der Beziehungen nötig wäre. Wer das mathematische Instrument vermisst, kann es in dem ganzen Buch nachschlagen, das ebenfalls im Internet unter der Adresse www.fridom-web.org/BUCH.pdf zu finden ist. Das Buch ist zwar in griechischer Sprache, der mathematisch orientierte Leser jedoch, könnte dort alle grundlegenden Beziehungen der Thermodynamik finden.

Die Wärme

Die ersten Beobachtungen

Die drei Zustände der Materie

Unsere Kenntnis über die Materie, ihre Struktur und ihre Zusammensetzung basiert auf der Erkennung ihrer atomaren Natur. Durch die Bestätigung der Existenz der Atome und die Erkennung ihrer Eigenschaften, hat uns die Physik die Möglichkeit gegeben durch die Chemie die Unterschiede der Elemente zu verstehen, und die Bildung und die Eigenschaften der Moleküle zu erklären.

Heute glauben wir die materielle Welt ziemlich gut zu kennen. Die Physik hat uns das Atom geliefert, die Chemie das Molekül. In dem täglichen Leben jedoch und in der Praxis kommen wir weder mit einzelnen Atomen noch mit einzelnen Molekülen in Kontakt. Ihre Dimensionen sind so weit von unserer direkten Auffassung entfernt, dass wir unsere Phantasie in Anspruch nehmen müssen um sie uns vorzustellen. Wenn wir ein Buch oder eine Tasse Café in der Hand halten, können wir nicht leicht behaupten, dass wir vergegenwärtigen, dass dies nichts anderes sei als eine große Anzahl winziger Atome und Moleküle, die wir niemals gesehen haben, außer in manchen Zeichnungen oder verschwommenen Bildern in einigen Büchern.

Im Fall der obigen Beispiele (Buch, Café) handelt es sich um komplexe Systeme. Diese stellen nicht nur die Mehrheit, sondern die Gesamtheit der materiellen Körper mit denen wir in Kontakt treten, denn auch das reinste chemische Reagenz beinhaltet eine Menge anderer Substanzen. Stellen wir uns aber trotzdem vor, dass wir eine reine Substanz haben. Wir wissen, dass diese Substanz fest, flüssig oder gasförmig sein kann, je nach der Temperatur und dem Druck bei dem wir sie beobachten. Und wir wissen auch, dass es reicht einen dieser Faktoren z. B. die Temperatur zu ändern, um von einem Zustand in einen anderen überzugehen.

Weil wir gewohnt sind bei Temperaturen um die 25°C und unter Atmosphärendruck zu leben, sagen wir gewöhnlich diese Substanz z.B. Wasser ist flüssig, ohne dazu zu klären bei welchen Bedingungen wir sie betrachten.

Materie erscheint in drei verschiedenen Zuständen.

Fest mit Hauptmerkmal die Kristallstruktur, flüssig ohne eigene geometrische Form und gasförmig mit der Tendenz sich im Raume auszubreiten.

In den Feststoffen befinden sich die Atome oder Moleküle in bestimmten geometrischen Stellen eines Kristallgitters und geben der Substanz eine bestimmte Form, die Form ihres Kristalls. In einer Flüssigkeit sind die Moleküle zwar nah beieinander aber sie behalten keinen konkreten Platz und unter dem Einfluss der Gravitation neigen sie sich "auszubreiten" und daher brauchen wir ein Gefäß zur Aufbewahrung einer Flüssigkeit. Im Gas befinden sich die Moleküle in größerem Abstand zueinander und streben diesen Abstand noch zu vergrößern, so dass wir einen von allen Seiten geschlossenen Behälter brauchen, um ein Gas aufzubewahren.

Die Gase und deren Eigenschaften

Der Versuch die Gesetze herauszufinden, die das Verhalten der Materie bestimmen, hat beim Studium der Gase einen konkreten leicht zugänglichen Gegenstand gefunden. Die Gase zeigen ein Verhalten, das man leicht mit einfachen Regeln beschreiben kann. Man kann leicht die Gesetze erkennen, die dieses Verhalten bestimmen. Hauptgrund für diese Einfachheit ist das Fehlen signifikanter Wechselwirkungen zwischen den Molekülen eines Gases.

Die Gasmoleküle befinden sich in großen (im Vergleich zu der Dimension der Moleküle selbst) Abstand zu einander, so dass die Wechselwirkung des einen zu dem anderen klein ist und in erster grober Annäherung vernachlässigt werden kann. In den Gasen hat die Materie ihre einfachste Form.

Die ersten Experimente zum Studium der Gase, hauptsächlich zur Findung der Beziehung, die das Volumen und den Druck eines Gases beschreibt, haben bereits am Anfang des 17ten Jahrhunderts begonnen und wurden bis zum Ende des 19ten Jahrhunderts weitergeführt.

Bezüglich dieser Experimente müssen wir die kleine Genauigkeit der Messungen, die die damaligen Instrumente lieferten, im Auge behalten. Während wir heute gewohnt sind mit unseren Instrumenten physikalische Größen mit Genauigkeit von drei, vier oder gar fünf (in extrem Fällen vielleicht mehr) bedeutenden Ziffern zu messen, waren die Instrumente, mit denen die Experimente der damaligen Zeit durchgeführt wurden, wesentlich ungenauer. Natürlich sind die mangelnden Möglichkeiten der Instrumente nicht etwas, was man sich wünscht. Wenn wir jedoch die Bemühungen der damaligen Physiker mit unseren heutigen Kriterien betrachten, müssen wir zugeben, dass diese Unzulänglichkeit der Instrumente auch zwei gute Seiten hatte.

1. Die Forscher waren gezwungen, die Messungen mit der größtmöglichen Sorgfalt und Aufmerksamkeit durchzuführen. Dadurch ist der Geist der Verantwortung des Forschers entstanden, der so wichtig für die Entwicklung der Wissenschaft ist. Heute (gewöhnt exakteste Messungen durch einfaches Drücken eines Knopfes zu erhalten) verlassen wir uns in der Sorglosigkeit und dem blinden Glauben an die fehlerlosen Instrumente, das es so weit geht, dass wir uns manchmal für schlechte Resultate mit den Worten entschuldigen: *"es ist nicht meine Schuld, das Instrument hat mir diese Zahl geliefert"*.
2. Die begrenzte Genauigkeit der Instrumente "verdeckte" die Details des Phänomens und ließ nur seine "groben Züge" erscheinen. Dies war sehr nützlich für die Anfänge der Wissenschaft, weil es erlaubte, die grundlegenden Gesetze zu erkennen ohne sich mit den Details zu befassen. Hätten wir die Welt mit der Exaktheit unserer heutigen Instrumente betrachtet, wären wir wahrscheinlich in den Details der Einzelheiten heillos verwickelt und hätten die Grundgesetze viel schwieriger erkannt.

Ein Gas tendiert, sich im Raume auszubreiten, und daher muss man es in einem geschlossenen Gefäß halten. Das Gas übt auf die Wände des Gefäßes Druck, der von der Menge des Gases, den zu Verfügung stehenden Raum und der Temperatur abhängt. Die Größen Druck, Volumen, Masse und Temperatur des Gases stehen näherungsweise in einem sehr einfachen Verhältnis zu einander, das ***Gleichung (oder Gesetz) der idealen Gase*** genannt wird.

Die ersten Annahmen

Die idealen Gase

Die Gleichung der idealen Gase beschreibt nur annäherungsweise das Verhalten der Gase. Es gibt kein Gas, dessen Verhalten dieser Gleichung exakt folgt. Die Annäherung ist unterschiedlich von Gas

zu Gas. Näher kommt das Verhalten der Edelgase, am Weitesten liegen die Gase, die nah an den Bedingungen ihrer Verflüssigung sind. Das gleiche Gas kommt desto näher wie sein Druck niedrig und seine Temperatur hoch ist.

Die Feststellung, dass alle Gase mehr oder minder dieser Gleichung folgen, hat zu dem Gedanken geführt, dass alle Gase je nach den Bedingungen (Druck, Temperatur) in denen sie sich befinden, mehr oder weniger etwas davon haben, was man "idealisierte Eigenschaften eines Gases" nennen könnte. So ist der Begriff des **idealen Gases** entstanden, eines Gases, das dieser Gleichung **exakt** folgt.

Der Begriff ideales Gas ist von seiner Definition her gleichbedeutend mit dem Ausdruck: "Gas, das der Gleichung der idealen Gase exakt folgt".

Wie gesagt, kein Gas verhält sich unter natürlichen Experimentierbedingungen genau nach dieser idealisierten Art. Man könnte sich daher fragen, warum die Thermodynamik einen Begriff einführt, der kein "natürliches Pendant" hat. Die Antwort ist, dass das natürliche Gegenstück sich in dem Verhalten **jedes** Gases befindet. Die Abstraktion der Detailsigenschaften, die in allen Gebieten der Naturwissenschaften nötig ist, und die Erkennung der Grundgesetze erlaubt, führt in diesem Fall zu dem Begriff des idealen Gases. Nachdem dieser Begriff durch diese Gleichung bestimmt ist, es gibt keine Unklarheit, was er bedeutet.

Die Thermodynamik ist ein besonders exakter Bereich der Wissenschaft und benützt eher das mathematische Instrument als die Beschreibung. Sie benützt daher oft Begriffe, die mathematisch bestimmt sind, und deren natürliches Gegenstück man nicht leicht erkennen kann. Ein solcher Begriff mag nicht "handgreiflich" sein, ist aber das Exakteste, was man sich vorstellen kann. Und da diese Methodologie zum Verständnis der natürlichen Welt beiträgt, ist sie nicht nur gerechtfertigt sondern, wie die Ausdehnung des von der Thermodynamik gedeckten Gebietes beweist, besonders effektiv.

Die kinetische Theorie

Eine Annahme

Was wir bisher gesehen haben, basiert auf die Beobachtung und das Experiment. Unsere Kenntnis auskristallisiert in der Form von Gesetzen und den mathematischen Beziehungen, die sie beschreiben, ist

das Produkt der Erfahrung. Das Gesetz der idealen Gase ist empirisch. Es besagt: "Wir haben festgestellt, dass die Gase sich so verhalten". Die Frage: "Worauf ist dieses Verhalten zurückzuführen, warum verhalten sich die Gase so und nicht anders?" haben wir gar nicht gestellt.

Um eine Antwort in dieser Art Fragen, die weiter als unsere aus der Beobachtung gewonnene Kenntnis reichen, zu geben, müssen wir einen anderen Weg einschlagen. Da wir aus der Beobachtung nicht schließen können, was im Detail passiert, müssen wir es mit unserer Phantasie vorstellen, wir müssen es annehmen. Wir müssen eine **Arbeitshypothese** aufstellen, wir müssen ein **Modell** gründen und anschließend testen, ob diese unsere Annahme in der Lage ist, die beobachteten Phänomene zu beschreiben. Wenn dies der Fall ist, dann haben wir etwas mehr als eine Hypothese, wir haben eine **Theorie**. Und wenn die Theorie in der Lage ist, nicht nur die Beobachtungen zu erklären, sondern zukünftige Phänomene vorauszusehen und den Ausgang, der zu diesem Zweck geplanten Experimente vorherzusagen, dann betrachten wir dieses Kapitel als abgeschlossen, und halten das, was als eine Hypothese angefangen hat, als das, was die wahre Natur der Dinge beschreibt.

Diesen "Gang der Entwicklung unserer Kenntnis" kann man an vielen Beispielen in allen Gebieten der Wissenschaft feststellen. Ein bekanntes Beispiel, das sogar verwandt mit unserem Thema ist, stellt die atomistische Struktur der Materie dar. Früher war sie eine einfache Hypothese, später sprachen wir über die Atomtheorie, heute betrachten wir sie als bewiesen.

Das entsprechende geschah mit der Kinetischen Gastheorie.

Nach der **Kinetischen Gastheorie**
befinden sich die Gasmoleküle
in ständiger Bewegung, die
Thermische Molekularbewegung.

Diese Bewegung ist nicht direkt beobachtbar, es ist aber nicht schwierig sie sich vorzustellen, da sie nicht nur von verschiedenen Experimenten bestätigt wird, sondern sie wird durch unsere tägliche Erfahrung der Diffusion der Gase¹ sehr plausibel.

Die thermische Bewegung beschränkt sich nicht nur auf die Gasmoleküle, die gibt es ebenfalls bei den Flüssigkeiten und den Feststoffen. In den Flüssigkeiten haben wir sogar ein direktes Empfinden dieser Bewegung, das schon lange bekannt ist. Es handelt sich um die **Brownische Bewegung**, die man mit einem starken optischen Mikroskop beobachten

¹ Wenn zu uns der Geruch der Fische kommt, die in der Nachbarwohnung gebraten werden, müssen wir wohl annehmen, dass Materietransport durch den Raum stattgefunden hat.

kann. Wenn wir einen kleinen Körper beobachten, der in einer Flüssigkeit schwebt (so wie die kleinen Mastixkugeln, die entstehen wenn wir Ouzo mit Wasser verdünnen) stellen wir fest, dass bei Dimensionen unterhalb $1\mu\text{m}$, eine unaufhörliche unregelmäßige Bewegung der Teilchen herrscht, eine Art Zittern, das umso stärker wird, je kleiner der Körper und je höher die Temperatur ist.

Die Brownsche Bewegung ist nicht die thermische Bewegung des beobachteten Körpers selbst. Sie ist das Resultat der Stöße, die er ständig erleidet wegen der thermischen Bewegung der Moleküle der Flüssigkeit, die ihn von allen Seiten umgeben. Wenn der Körper im Vergleich zu der Größe der Moleküle die ihn umgeben sehr groß ist, dann ist die resultierende Kraft dieser Stöße, die aus allen Richtungen mit unterschiedlichem Impuls kommen, praktisch null. Wenn der Körper klein ist, dann ist die Anzahl der Stöße kleiner, und deren resultierende Kraft hat in einem Moment einen bestimmten Wert in einer bestimmten Richtung. Nun beginnt der Körper, der jetzt auch eine kleinere Trägheit hat, sich in dieser Richtung zu bewegen. Bald aber ändert die resultierende Kraft ihre Richtung und Intensität, und deswegen beobachten wir dieses Zittern der Teilchen.

Durch die Annahme der Molekularbewegung und ihre mathematische Verarbeitung, waren wir in der Lage, das Verhalten der Gase zu erklären. Die Gleichung der Idealen Gase ist die Folge der Bewegung der Gasmoleküle. Gleichzeitig erhielten wir die Erklärung der Größen: Druck und Temperatur.

Wenn wir annähmen, dass die Gasmoleküle in deren unaufhörlichen Bewegung nicht nur untereinander aber auch mit den Wänden des Gefäßes elastisch kollidieren, können wir zeigen, dass der Druck, der erzeugt wird, das Resultat der Kraft ist, die die Kollisionen der Moleküle auf die Wand verursachen.

Der Begriff der Temperatur, der bis jetzt nur das Gefühl² des wärmeren oder kälteren war, und in willkürlichen Skalen gemessen wurde, bekommt nun einen konkreten physikalischen Inhalt. Temperatur ist das Maß der kinetischen Energie der Moleküle. Da ja die Wärme nichts anderes als die kinetische Energie der Moleküle ist. Je höher die Temperatur ist, desto mehr kinetische Energie beinhalten die Moleküle.

² Da unser Körper, vor allem auf der Haut, Rezeptoren der Temperatur besitzt, war keine besondere Begründung der Existenz dieser Größe nötig.

Der Erste Hauptsatz der Thermodynamik

Die Energie

Was ist Energie?

Man würde glauben, dass eine solche Frage gar nicht gestellt zu werden bräuchte oder wenn unbedingt, dann ganz leicht zu beantworten wäre, denn wir alle wissen (oder wir glauben bloß zu wissen?) was Energie ist. Wenn man jedoch tatsächlich sorgfältig die Frage beantworten will, muss man zugeben, dass die Antwort gar nicht leicht ist. Der Grund ist, dass wir uns auf etwas stützen müssen, wenn wir etwas beschreiben oder definieren wollen. Wir gehen von etwas Grundsätzlichem aus, das uns bereits bekannt ist, und darauf bauen wir unsere Beschreibung. Um unseren Gedankengang aufzubauen brauchen wir etwas Generelles, Allgemeineres, Grundsätzlicheres von dem was wir beschreiben wollen.

Das Problem mit der Energie ist, dass sie **ein Grundbestandteil des Kosmos** ist, den wir nicht auf etwas Gründlicheres beziehen können, so dass unsere Definition verständlich wird. Übrigens, wenn wir ehrlich sein wollen, müssen wir zugeben, dass wir ebenfalls Schwierigkeit haben, wenn wir ähnliche Fragen beantworten wollen über die restlichen Grundelemente des Kosmos z.B. was ist Materie, oder Raum oder Zeit. Das was so gründlich in der Natur des Kosmos ist, kann nicht mit einer einfachen Definition beschrieben werden.

Man kann in verschiedenen Werken verschiedenen Definitionen finden darüber was Energie sei. Die richtigere Formulierung ist folgende:

Energie ist eine erhaltene
oder unveränderte Größe.

Eine Abwandlung dieser Definition wäre:

Energie ist eine Größe für
die der Erhaltungssatz gilt.

Diese Definition mag im ersten Blick befremden, hat aber die Exaktheit und die mathematische Reinheit, die die Thermodynamik ver-

langt. Sie versucht es gar nicht, sich auf andere Begriffe zu beziehen, die wie wir gesehen haben nicht klar definiert sein können und beschränkt sich das zu sagen, was wirklich bedeutend ist:

Energie kann weder verschwinden
noch aus dem Nichts entstehen.

Übrigens gibt es nicht viele natürliche Größen, die dem Erhaltungssatz gehorchen.

Eine andere Definition, die manchmal benützt wird besagt:

Energie ist die eine
Form der **Weltsubstanz**,
die andere ist die Materie.

Es ist offensichtlich, dass diese Definition nicht so exakt ist, denn in Wirklichkeit versetzt sie das Problem auf das "*was die Weltsubstanz ist*" und verbindet es zugleich mit der Frage "*was ist Materie*". Jedoch kann sie zur Verständigung beitragen, weil sie sehr gut das Gefühl vermittelt, wie ernst dieses Thema ist.

Nach alledem könnte man ein Gefühl der Enttäuschung bekommen bei dem Gedanken: "Wenn wir nicht einmal richtig wissen was Energie ist, wie ist es möglich auf diesem Halbwissen aufbauend zu richtigen Ergebnissen zu kommen?"

Ein solcher Gedankengang wäre vielleicht interessant für die Theorie der Kenntnis. Für die Thermodynamik, und zwar aus der Sicht des Ingenieurs, ist er unberechtigt. Der Grund ist der offensichtliche Erfolg der Technik, der die Richtigkeit der angewandten Methodologie beweist. Die Technik, gestützt mit Sicherheit auf das mathematische Instrument, hat auf dieser Basis zu Resultaten geführt, die nicht bezweifelt werden können.

Die Thermodynamik und ihre Anwendungen decken einen so großen Bereich der heutigen Welt, die man sich ohne die Thermodynamik kaum vorstellen könnte. Wie hätte zum Beispiel die Welt ausgesehen, in der der Mensch leben müsste, ohne die thermischen Kraftmaschinen, die uns von der Muskelarbeit befreien und die industrielle Revolution eingeleitet haben?

Unsere heutige Lebensart ist mit der Anwendung der Energie untrennbar verbunden. Wir leben in Räumen, die mit Energiebenutzung (Baumaschinen) aus Materialien gebaut wurden (Stahl, Zement, Glas, ...), die mit Energie hergestellt wurden und mit Energieverwendung (Erwärmung, Kühlung, Beleuchtung, Belüftung,...) funktionieren können. Unsere Nahrung, die uns die nötige Energie zum Leben liefert, von ihrer Produktion auf dem Acker (in Wirklichkeit noch davor, als wir die nötigen Düngemittel herstellten) bis sie auf unseren Tisch kommt (Weizen mahlen, Brot

backen, ...) wurde unter Energienutzung produziert. Alles was wir benutzen (einen Schreibstift, ein Blatt Papier, unsere Kleidung, die Haushaltswaren, die Apparate zu Hause oder in unserer Arbeit, ...) ist hergestellt durch Verwendung von Energie. Der Transport (auf der Erde, im Wasser, in der Luft) findet durch Benutzung von Energie statt. Es sind keine weiteren Beispiele nötig. Sie können kaum ein Gebiet unserer Tätigkeit finden, das unabhängig von Energie wäre.

Es ist gar nicht verwunderlich, dass Energie die "Antriebskraft" der Wirtschaft ist. Ihre Sicherstellung ist die Hauptsorge der Regierungen, und ihr zuliebe finden die meisten politischen und militärischen Aktionen statt.

Verschiedene Formen, verschiedene Messeinheiten

Unabhängig irgendwelcher Probleme bei ihrer Definition stellt die Energie etwas Reelles in der Natur dar. Steht in Wechselwirkung mit der Materie und ist der Hauptgrund ihrer Veränderungen. Eigentlich jede Veränderung in der Natur geschieht mit Beteiligung der Energie oder gerade wegen der Energie. Wir stoßen auf sie bei jedem Schritt in den verschiedenen Formen in denen sie erscheint. Sie kann z.B. als kinetische oder dynamische Energie erscheinen, als elastische Energie, als thermische oder Strahlungsenergie, als elektrische oder chemische Energie und so fort.

Für die Bedürfnisse der Beobachtung und vor allem der Anwendung war es folgerichtig die Energiemenge messen zu wollen. Und natürlich hat man versucht bei jeder ihrer Erscheinungsformen die jeweils zugänglichen physikalischen Größen zu messen, die in Zusammenhang mit der Energie waren. So wurde z.B. die kinetische Energie durch die Geschwindigkeit und die Masse gemessen. Die elektrische Energie durch den Strom und die Spannung, die thermische Energie in Zusammenhang mit der Temperatur gebracht usw.

Entsprechend sind unterschiedliche Einheiten für die Messung der Energie entstanden. Das **erg** für die Mechanische Energie, die **cal** für die thermische, die **kWh** für die elektrische etc. Das Internationale Einheitensystem (SI) erkennt das **Joule** (J) als Einheit für alle Energieformen.

Für Energieformen, die in keinem direkten Zusammenhang mit einer messbaren Größe gebracht werden konnten, haben wir die Einheit aus einem anderen Gebiet angewandt. So wird z.B. für die chemische Energie heute noch die cal verwendet, oder es wird ein Vergleich mit einer Standardsubstanz gemacht. Der gewöhnlicher Ausdruck: "*dieses Essen hat soundso viele Kalorien*" (dabei sind kcal gemeint), beschreibt die

Energiemenge, die beim Metabolismus im Körper freigesetzt wird. Oder wenn wir bei einem Explosivstoff sagen "*dieser Sprengstoff hat die Energie von soundso viel Kilogramm TNT*", machen wir einen Vergleich mit der Energie, die freigesetzt wird bei der Zersetzung von 1 kg Trinitrotoluol. Bei den Nuklearwaffen wird gewöhnlich der **Kiloton** angewandt, der sich wiederum auf das TNT bezieht. Wenn wir hören "*der letzte Versuch hatte eine Leistung von hundert Kilotonnen*" das bedeutet, dass dabei so viel Energie freigesetzt wurde wie bei der Explosion von hunderttausend Tonnen (100,000.000 kg) TNT.

Die Umwandlung der Energie

Das Perpetuum Mobile erster Art

Energie kann sich von einer Form
in eine andere umwandeln.

Das ist etwas was man empirisch feststellt und selbstverständlich schon in den ersten Schuljahren lernt. So kann sich z.B. mechanische Energie durch Reibung in Wärme oder mit Hilfe eines Generators in elektrische Energie umwandeln. Die elektrische Energie kann bei der Aufladung einer Batterie zur chemischen Energie oder bei dem Durchgang durch einen Widerstand zu Wärme werden usw.

Dass während dieser Umwandlungen Energie nicht verloren gehen kann und noch weniger neu entstehen kann, das heißt der Inhalt **des Ersten Thermodynamischen Hauptsatzes**, ist etwas, das wir heute als einleuchtend, ja sogar als selbstverständlich erachten. Übrigens der aufmerksame Leser hat gemerkt, dass wir gerade diese Eigenschaft der Energie für ihre Definition benutzt haben.

Es war aber nicht immer so. In früheren Zeiten viele, und unter ihnen einige ganz besonders fähige Leute (auch Leonardo da Vinci) haben versucht die Natur "zu tricksen", in dem sie die Konstruktion des sogenannten **Perpetuum mobile** anstrebten. Dies wäre eine Maschine in der Energie zwischen verschiedenen Formen sich umwandeln würde und dabei ein "*energetischer Profit*" herauspringen sollte. Diese Maschine würde nicht nur unaufhörlich weiter laufen (wie ihr Name etwas irreführend besagt), sondern sie würde durch die aus dem Nichts entstandene Energie auch eine nützliche Arbeit verrichten.

Es gibt keinen theoretischen Beweis warum die Konstruktion einer solchen Maschine unmöglich wäre. Eine andere "Legitimation" außer

dem ersten Hauptsatz haben wir nicht. Und der ist lediglich ein Erfahrungssatz, ist das Produkt unserer Erfahrung. Und diese Erfahrung müssten wir erst gewinnen. So haben die Menschen sich jahrelang bemüht ein Perpetuum mobile zu machen. Nach und nach haben diese Bemühungen aufgehört oder zumindest stark nachgelassen³. Man kann sagen, dass der erste Hauptsatz der traurige Epilog unserer erfolglosen Bemühungen ist.

Wir können nicht eine Maschine bauen, die Energie aus dem Nichts hervorbringen kann. Und dies liegt nicht an unserem Mangel an Erfindungskraft oder unzureichender technischen Entwicklung (z.B. Materialien mit Reibungskoeffizient Null). Es liegt in der Natur der Energie. Das ist ein Gesetz der Natur. Der Erste Thermodynamischer Hauptsatz, der auch so formuliert werden kann:

In einem isolierten System bleibt die gesamte Energiemenge konstant.

Ein System in dem Energie weder ein- noch austritt, kann seine Energiemenge nicht ändern. Folglich ein System kann nicht unaufhörlich Energie liefern ohne aus seiner Umgebung Energie in irgendeiner Form zu erhalten.

Hier müssen wir etwas in Bezug auf die Nutzung der Atomenergie notieren. Für ein Atom-U-Boot scheint der erste Hauptsatz in der obigen Form nicht zu gelten, da Energie ständig nach außen geführt wird ohne dass eine andere Energieform eingeführt wird. Wir wissen natürlich, dass die Energie nicht aus dem Nichts entsteht, sondern aus der Umwandlung der Materie zu Energie stammt, und daher der Erste Hauptsatz mit dieser Notiz seine Gültigkeit behält.

³ Einige "Unverbesserliche" versuchen es immer noch und präsentieren (nur auf dem Papier natürlich) mehr oder minder komplexe Konstruktionen die Energie aus dem Nichts hervorbringen würden. Manchmal sogar bringen sie es fertig solche "Studien" zu veröffentlichen, wenn die Kontrolle des Gedruckten lasch genug ist. Der Wunsch, die Natur zu "überlisten" und etwas mühelos zu bekommen, ist so tief verwurzelt, dass diese "Erfinder" williges Gehör finden. Und die Presse verpasst die Gelegenheit nicht, immer wieder neu zu annoncieren: "*Maschine ist erfunden worden, die zu ihrer Funktion keinen Brennstoff sondern einfaches Wasser benötigt*".

Die thermischen Kraftmaschinen

Die **thermischen Kraftmaschinen** oder exakter die Maschinen, die die Wärme in mechanische Arbeit umwandeln, haben eine so wichtige Rolle in unserer technischen Zivilisation, dass wir sie etwas konkreter betrachten sollen.

Manchmal betrachten wir heute deren Existenz als selbstverständlich, oder wir vergessen sie ganz oder finden sie gar als lästig, wir dürfen aber ihre Bedeutung nicht unterschätzen. Bis zu ihrem Erscheinen, wo immer mechanische Arbeit benötigt wurde, mussten wir die Energie unserer Muskeln oder die Energie der Muskeln der Tiere einsetzen. Die kleine Leistung⁴ dieser Energiequellen bestimmte die Grenze und hinderte die breite Anwendung der mechanischen Energie. Und gerade diese Energiegrenze war die Grenze für die Entwicklung der Technik und der Gesellschaft, unabhängig von den moralischen⁵ und gesellschaftlichen Problemen, die dazu gehörten.

Es gab auch natürlich die Möglichkeit der Nutzung der Windenergie (Segelschiffe, Windmühlen) oder der Wasserkraft (Wasserrad, Sägewerke) aber wiederum zeitlich (nur wenn der Wind wehet) oder örtlich (wo es die Wasserfälle gab) beschränkt.

Das Erscheinen der Wärmekraftmaschinen war ein Schnittpunkt in unserer Entwicklung. Eine Revolution mit all den Folgen einer großen radikalen Veränderung. Es war die industrielle Revolution, deren Grund, die treibende Kraft, die Wärmemaschine war. Jetzt gab es keine Energiegrenze mehr. Es konnten gebaut werden und wurden gebaut immer größere Maschinen, die eine ganze Fabrik in Bewegung setzten, ein großes Schiff, einen großen Zug. Die Folgen in der Struktur und der Entwicklung der Gesellschaft und der Technik sind allen bekannt.

⁴ Die Einheit Ps für die Leistung (aus dem Wort Pferdestärke) bezieht sich auf die Leistung eines Arbeitspferdes. In einem Auto mit einen 100 Ps Motor sind 100 Pferde eingespannt.

⁵ Es wird gewöhnlich angenommen, dass es nicht Sache der Naturwissenschaften und noch weniger der Ingenieure ist, sich mit solchen Themen zu befassen. Wer aber dieser Ansicht ist, täte gut, sich selbst zu fragen ob z.B. die Abschaffung des Sklaventums (über mehrere Jahrhunderte waren die Sklaven "die treibende Kraft" der Wirtschaft und wurden hauptsächlich als Arbeit liefernde Maschinen eingesetzt) das Resultat der moralischen Appelle und der philosophischen Theorien war, oder die Folge der Arbeit der Naturwissenschaftler und Ingenieure, die die Wärmekraftmaschinen bauten.

Heute nehmen die thermischen Kraftmaschinen Teil in unserem Leben und beeinflussen es in vielerlei Hinsicht. Wir brauchen keine Beispiele zu erwähnen. Jeder kann überlegen in welchem Anteil er die Energie seiner Muskeln benutzt und wie viel fremde mechanische Energie er ausnutzt. Nicht nur in den offensichtlichen Fällen wie z.B. im Transport, sondern wenn wir Materialien und Gegenstände benutzen, die mit Aufwand von mechanischer Energie hergestellt wurden.

Man könnte sich fragen, warum gerade die thermischen Kraftmaschinen eine so große Bedeutung haben und nicht manche andere Maschinen, die nicht die Wärme sondern eine andere Energieform benutzen würden, um sie weiter in Arbeit umzusetzen. Die Antwort ist leicht. Wärme ist die Energieform, die wir am leichtesten zu Verfügung haben (vor allem durch Umwandlung von chemischer Energie durch eine chemische Reaktion, hauptsächlich Verbrennung organischer Substanzen) in jeder Zeit und jeder Menge wir wollen.

Da wir sowohl im täglichen Leben wie in der Industrie in großer Breite die elektrische Energie verwenden, sollten wir nicht vergessen, dass hinter der elektrischen Energie in der Regel eine Wärmekraftmaschine steckt. Der elektrische Strom wird hauptsächlich⁶ von thermischen Kraftmaschinen produziert. Ob die Wärme aus einer chemischen Reaktion (Verbrennung) stammt oder aus Atomspaltung, übernimmt eine thermische Maschine (gewöhnlich eine Dampfturbine) die Umwandlung zur mechanischen Arbeit, die den Stromgenerator antreibt um elektrischen Strom zu produzieren.

Bevor wir das Kapitel der Wärmekraftmaschinen abschließen, müssen wir uns mit der meistens gerechtfertigten Kritik befassen, die an einigen dieser Maschinen geübt wird. Es handelt sich um die Verbrennungsmotoren, die für die Bewegung der Automobile benutzt werden. Diese Maschinen verbinden zwei in sich unterschiedliche Funktionen. Es sind zugleich chemische Reaktoren für die Verbrennung der Kohlenwasserstoffe zur Wärmeproduktion und Wärmemaschinen zur Umwandlung der Wärme in mechanische Arbeit. Aus Gründen, die mit deren Basiskonzept zusammenhängen, können diese Maschinen ihre erste Aufgabe (die eines chemischen Reaktors) nur unvollkommen ausüben und stoßen in ihren Abgasen die bekannten Schadstoffe (Kohlemonoxyd, Kohlenwasserstoffe, Stickoxyde, Ruß) aus, die Probleme in den Ballungszentren verursachen. Die enorme Trägheit und die wirtschaftlichen Interessen, die mit einer weltweit etablierten Technik verbunden sind, verhindern zurzeit eine radikale Veränderung (von Grund aus neukonzipierte Motoren, direkte Energieumwandlung der chemischen zu elektrischer Energie) und das Problem wird notdürftig durch immer bessere Katalysatoren bekämpft.

⁶ Wir produzieren noch Strom aus anderen Energiequellen (Wind, Wasserkraft, Solarzellen), deren Anteil aber in der Gesamtmenge klein ist.

Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik

Die Entropie

Als wir die Umwandlung der Energie von der einen Form in die andere betrachteten, haben wir nicht die Frage gestellt ob die ganze Menge der zu Verfügung stehenden Energie, sich in die andere Form umgewandelt hat. Warum sollten wir auch? Wenn wir elektrische Energie in Wärme umwandeln indem wir Strom durch einen Widerstand fließen lassen, haben wir keinen Zweifel, dass der ganze Strom zu Wärme geworden ist. Als Joule⁷ sein berühmtes Experiment machte, hat er sehr richtig angenommen, dass die ganze potentielle Energie zu Wärme übergegangen war.

Bei den Wärmekraftmaschinen jedoch ist die Sache anders. Da haben schon die ersten Beobachtungen gezeigt, dass nicht die ganze Wärme zur Arbeit wird. Die Wärmemaschinen wandeln nur einen Teil der Wärme, die sie verbrauchen, zur Arbeit um. Der Rest wird unbenützt wiederum als Wärme aber bei kleinerer Temperatur abgegeben. Sie haben einen begrenzten **Wirkungsgrad**. Offensichtlich ist dieser Wirkungsgrad von großer Bedeutung, und daher wurde er systematisch studiert. Dieses Studium außer dem praktischen Nutzen den es hat, gab uns die Möglichkeit eine wichtige im Kosmos herrschende Gesetzmäßigkeit kennenzulernen.

Bei den Berechnungen über den Wirkungsgrad der Wärmemaschinen ist eine Größe erschienen, die bestimmt wird als Quotient der transportierten Wärme geteilt durch die Temperatur bei der der Transport stattfand. Nach und nach hat sich herausgestellt, dass diese Größe, die wir **Entropie** nannten, und anfänglich nur als Berechnungshilfe benutzten, eine viel größere Bedeutung hatte, als wir am Anfang meinten. Sie ist einer der wichtigsten Begriffe der Ther-

⁷ In der Mitte des 19^{en} Jahrhunderts hat J. P. Joule einerseits die Wärme bestimmt, die entsteht wenn elektrischer Strom durch einen Widerstand fließt (**joulesche Wärme**) und andererseits das **mechanische Wärmeäquivalent** (das Verhältnis zwischen mechanischer Energie und Wärme) durch folgender Anordnung gemessen. Ein Gewicht hing an einem Seil in bestimmter Höhe. Als er das Gewicht fallen ließ, brachte das Seil ein Flügelrad in Bewegung, das in einem wärmeisolierten Wasserbehälter getaucht war. Durch Messung des Temperaturanstiegs im Wasser wurde das Verhältnis zwischen Mechanische- und Wärmeenergie bestimmt.

modynamik und wird uns zur Erkenntnis der grundsätzlichen Gesetze der Natur führen.

Entropie ist eine
Zustandsgröße.

Ihr Wert ist unabhängig von der "Geschichte" des Systems, das wir untersuchen, hängt nicht von dem Weg ab, den das System durchlaufen hat, um in den Zustand zu kommen, in dem wir es studieren. Die Entropie wird durch den Zustand des Systems bestimmt, und sie bestimmt diesen Zustand.

Die Entropie eines Systems, so wie seine anderen Zustandsgrößen (Druck, Volumen, Temperatur) kann wachsen oder abnehmen, wenn das System Wärme oder Arbeit mit seiner Umgebung austauscht. Entsprechend natürlich verringert sich oder wächst die Entropie der Umgebung.

Wenn aber das System und seine Umgebung ein einheitliches "Supersystem" bilden, das diesmal isoliert ist, das heißt keinen Energieaustausch mit seiner Umgebung hat, was macht dann die Gesamtentropie des Systems, während in seinem Inneren Veränderungen stattfinden?

Die Antwort ist äußerst interessant und hängt davon ab, ob die stattfindenden Veränderungen im Inneren des Systems **reversibel**⁸ sind oder nicht:

Die Gesamtentropie eines isolierten Systems bleibt nur dann konstant, wenn die Veränderungen in seinem Inneren ausschließlich reversibel sind. Wenn nur ein Einzelschritt des Prozesses irreversibel ist, dann wächst die Gesamtentropie.

In Wirklichkeit wächst die Gesamtentropie eines isolierten Systems bei jeder Veränderung in seinem Inneren.

Dieser Satz ist so wichtig, dass seine Bedeutung sich nur mit dem entsprechenden Satz vergleichen lässt über die Konstanz der Gesamtenergie in einem isolierten System. Jener Satz bildete den tiefe-

⁸ Reversible Prozesse stellen eine Idealisierung dar (so wie die Idealen Gase), die uns sehr bei der Darstellung der Begriffe und der mathematischen Verarbeitung geholfen haben. Als Beispiel könnte man sich Veränderungen vorstellen, die ohne "treibende Kraft" stattfinden, sagen wir, Wärmetransport zwischen Körpern deren Temperaturunterschied null wird.

ren Kern des ersten Hauptsatzes. Der neue Satz über das Wachstum der Entropie bildet den tieferen Kern des **Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik**.

Gedanken über den Zweiten Hauptsatz

Der Zweite Hauptsatz ist parallel mit dem Studium der Funktion der Wärmekraftmaschinen entstanden. Die so wichtige Umwandlung der Wärme zu Arbeit, der Wirkungsgrad, der Begriff der Entropie haben sich alle parallel entwickelt und stellen eigentlich verschiedene Aspekte des Zweiten Hauptsatzes dar.

Der Zweite Hauptsatz deckt einen sehr großen Bereich unserer Kenntnisse über die natürliche Welt. Wenn man ihn in seiner ganzen Tragweite kennenlernen und verstehen will, muss man sich auch in Bereiche begeben außerhalb der gewöhnlich streng betrachteten Grenzen der Thermodynamik. Und noch etwas. Da das mathematische Instrument, das uns bei der Beweisführung so sehr hilft, noch nicht unseren Versuch unterstützen kann, uns an die Grenze des heute anerkannten Gebietes der Naturwissenschaften zu begeben, werden wir eine detaillierte Untermauerung jedes Gedankenganges benötigen.

Man findet aber in der Literatur gewöhnlich nicht solche Formulierungen, wie sie auf den nächsten Seiten stehen. Der Grund ist vermutlich, dass die Autoren sich ungern in "fremden Gebieten" bewegen und zögern im "akademischen Niveau" sich in einer Art zu äußern, die für die "Seriosität" des Gegenstandes unpassend wäre.

Wenn man aber überzeugt ist, dass es einen tieferen Zusammenhang zwischen den verschiedenen Wissensgebieten gibt, dann ist es vielleicht besser, die Beweisführung zu bringen und die Schreibweise zu verwenden, die geeignet ist, einen zugegebener Weise schwierigen Gegenstand verständlich zu machen. Das ist der Grund, warum diese Seiten unterschiedlich von den meisten Büchern über die Thermodynamik sind.

Beziehung zwischen Wärme und Arbeit

Unsere Kenntnis über den Zweiten Hauptsatz ist etwas was wir nach und nach errungen haben. Es war Zeit nötig, um zu verstehen welche zentrale Rolle er im Geschehen des Kosmos spielte. Und mög-

licherweise befinden wir uns noch in diesem Prozess⁹. Bezeichnend für diese Situation ist, dass wir verschiedene Ausführungen für den Zweiten Hauptsatz haben. Ausführungen, die jeweils einen anderen Aspekt beleuchten aus dem immensen Raum den dieser Satz deckt.

Aus diesen Ausführungen werden wir drei der meist verwendeten näher betrachten und versuchen deren Inhalt zu untersuchen.

1. Erste Formulierung (Lord Kelvin)

Es ist unmöglich in einem Kreisprozess Wärme aus einem Wärmereservoir zu Arbeit zu verwandeln, ohne gleichzeitig eine andere Wärmemenge von diesem Reservoir in ein kälteres zu überführen.

Diese Überlegung bezieht sich auf die Wärmekraftmaschinen und die Umwandlung der Wärme zur Arbeit. Wir haben diese Gedanken schon kennengelernt, als wir über den Wirkungsgrad dieser Maschinen nachdachten.

Warum aber gibt es diesen Unterschied? In dem Pendel, wenn es die Verluste der Reibung nicht gäbe, hätten wir nicht eine ständige hundertprozentige Umwandlung der kinetischen in potentielle Energie und umgekehrt?

Hier aber bereits in dem Nebensatz "*wenn es die Verluste der Reibung nicht gäbe*" ist der Kern des Problems versteckt. Was ist aber böse mit der Reibung? Sie setzt mechanische Energie in Wärme um. Ja, und? Ist etwa die Wärme nicht ebenfalls Energie? Energie ist sie schon, aber nach der Formulierung von Kelvin kommt jetzt der Zweite Hauptsatz und sagt: da ihr so leichtsinnig seid und zugelassen habt, dass mechanische Energie zu Wärme wurde, erlaube ich euch nicht diese Wärme wieder zu Arbeit zu machen, außer ihr transportiert eine andere Wärmemenge von einer höheren Temperatur zu einer niedrigeren.

Was sind das für "Launen" der Natur hier? Was gewinnt sie, wenn sie uns die Bedingung auferlegt, Wärme von höherer Temperatur in niedrigere überzuführen? Bei der Erniedrigung der Temperatur findet offensichtlich eine qualitative Veränderung statt. Es ist nicht das Gleiche, wenn wir 100 J bei hoher Temperatur oder 100 J bei niedriger Temperatur zu Verfügung haben. Die Energiemenge ist die Gleiche (dies verlangt

⁹ Weil der Prozess, die ganze Tragweite des Zweiten Hauptsatzes zu verstehen, noch nicht abgeschlossen ist und viele seiner Folgen nicht in das Gebiet der "offiziellen" Thermodynamik gehören, werden im Anhang des Buches einige Gedanken aufgeführt, die zur weiteren Klärung seiner Bedeutung beitragen könnten.

der erste Hauptsatz), ihre "Qualität" aber hat sich geändert. Die Wärme hat sich "herabgestuft". Und diese "**Herabstufung**" ist diejenige mit der wir die "**Heraufstufung**" der Wärme zur mechanischen Energie "erkauften". Wir müssen annehmen, dass Wärme Energie "minderer Qualität" als Arbeit ist. Und zwar je niedriger die Temperatur ist, in der uns die Wärme zur Verfügung steht, desto niedriger ist ihre Qualität.

Last uns aber die anderen Formulierungen betrachten.

2. Zweite Formulierung (R. Clausius)

Es ist unmöglich Wärme aus einem kälteren Reservoir in ein wärmeres überzuführen ohne gleichzeitig eine gewisse Menge Arbeit in Wärme umzuwandeln.

Wenn man die **Kreisprozesse**¹⁰ studiert, stellt man fest, dass, je nach der Richtung in der der Kreis durchfahren wird, haben wir eine Wärmekraftmaschine, die Wärme in Arbeit umwandelt, oder eine **Wärmepumpe**, die Wärme von einem kälteren in ein wärmeres Reservoir transportiert. Die Formulierung von Clausius bezieht sich gerade auf die Wärmepumpe.

Diese Formulierung scheint in ihrem ersten Teil selbstverständlich zu sein. Natürlich kann Wärme von etwas Kälterem in etwas Wärmeres nicht übergehen. Genau das umgekehrte geschieht in der Natur und daran sind wir gewöhnt. Nur dass wir nicht die Frage gestellt haben, warum ist es so. Warum gibt es diese "bevorzugte Richtung" in der Natur? Hätte dies uns eigentlich nicht beschäftigen sollen?

Betrachten wir aber noch den zweiten Teil der Formulierung. Hier erscheint wieder die "Laune" der Natur. Es ist schon erlaubt die natürliche Richtung des Wärmeflusses umzukehren und Wärme von einem kälteren Reservoir in ein wärmeres überzuführen unter der Voraussetzung, dass man gleichzeitig eine gewisse Menge Arbeit in Wärme umwandelt.

Natürlich handelt es sich nicht um "Launen" weder in den ersten noch im zweiten Fall. Es sind Ausdrücke des selben strengen Naturgesetzes, das die Beziehung zwischen Wärme und mechanischer Arbeit bestimmt. Wärme und Arbeit sind unterschiedliche Formen der gleichen Sache. Es geht um Energie in beiden Fällen. Es geht

¹⁰ Kreisprozesse sind Prozesse bei denen eine Gasmenge nach einer Reihe Veränderungen, während deren sie Wärme und Arbeit mit ihrer Umgebung austauscht, zum Schluss in ihren Anfangszustand zurückkehrt.

um das Gleiche. Nur es gibt dennoch einen Unterschied, und wir müssen ihn verstehen.

Zu diesem Verständnis wird uns die dritte Formulierung verhelfen.

3. Dritte Formulierung (Max Planck)

Man kann nicht eine Maschine konstruieren, die in wiederholter Funktion nichts anderes tut als ein Gewicht zu heben, während sie gleichzeitig ein Wärmereservoir abkühlt.

Plank zieht es vor auf die Umsetzung von Wärme in Arbeit zurückzukehren, und er fragt sich warum eigentlich die Versuchsanordnung von Joule nicht auch umgekehrt funktionieren sollte. Anstatt das Gewicht fallen lassen und dadurch das Wasser erwärmen, soll sie das Wasser abkühlen und das Gewicht heben. Jetzt wird die Sache ganz klar.

Wollen wir aber zuvor einige Beispiele sehen. Wenn wir ein Gewicht von 1 Tonne aus einer Höhe von 3 Meter fallen lassen, wird so viel Wärme freigesetzt, die ausreicht um 1 Liter Wasser von 10°C auf 17°C zu erwärmen. Die Energie kann nicht verschwinden. So viel potentielle Energie in dem Gewicht war, als es hoch stand, genau so viel mehr Thermische Energie befindet sich jetzt in dem Wasser von 17°C. Wenn wir eine Maschine, wie die von Joule hätten, würden wir es feststellen, und könnten sie für Warmwasserzubereitung benutzen. Ob dies allerdings praktisch wäre, jedes Mal wenn wir 1 Liter Wasser um 7 Grad erwärmen wollen, ein Gewicht von 1 Tonne auf 3 Meter hochzuziehen um es dann fallen zu lassen, das ist eine andere Geschichte.

Wäre es aber nicht sehr interessant und für die Praxis äußerst nützlich, eine Maschine zu erfinden, die genau das Gegenteil machen könnte? Wir würden ihr Wasser geben, das sie abkühlen würde, und aus der dadurch gewonnen Energie würde sie irgendeine Arbeit verrichten.

Wenn ein Auto bergab fährt, betätigt der Fahrer die Bremse. Die potentielle Energie, die das Auto hatte als es oben war, die zur kinetischen Energie wurde als das Auto immer schneller runterfuhr, wird zu Wärme, die erst die Bremse und anschließend die umgebende Luft erwärmen wird.

Wäre es nicht sehr schön eine Maschine zu haben, die die umgebende Luft abkühlen würde und mit der dadurch gewonnene Energie das Auto bergauf bringen könnte?

Das Perpetuum mobile zweiter Art und der "*thermische Tod*"

Der erste Thermodynamische Satz hat uns jeder Hoffnung beraubt, das Perpetuum mobile erster Art zu bauen. Jene Maschine die Energie aus dem Nichts produzieren würde. Hier aber wollen wir nicht Energie aus dem Nichts erzeugen. Energie haben wir genug. Thermische Energie so viel wir wollen. In der Luft, in der Erde, im Wasser der Ozeane. Wenn wir sie in mechanische Energie umsetzen könnten, indem wir die jeweilige Wärmequelle abkühlen, hätten wir alle unsere Energieprobleme ein für alle Mal gelöst.

Nun alle Formulierungen, die wir gesehen haben, laufen auf das Gleiche hinaus:

Der Zweite Hauptsatz
schließt die Konstruktion des
Perpetuum mobile zweiter Art aus.

Die dritte Formulierung besagt es in aller Klarheit. Die anderen zwei Formulierungen beziehen sich in Wirklichkeit auf die gleiche Sache. Alle diese "Launen" der Natur in der Beziehung Wärme zu Arbeit beschreiben nichts anderes als die Unmöglichkeit der Realisierung des Perpetuum mobile zweiter Art. Eine Unmöglichkeit, die nicht aus unserem Mangel an Erfindungsgabe herrührt, sondern der Ausdruck einer tiefen Gesetzmäßigkeit in der Natur ist.

Wenn wir nun das, was wir über die Beziehung Wärme zu Arbeit gesehen haben, mit der Erhöhung der Entropie kombinieren, kommen wir auf einen gar nicht erfreulichen Schluss über das energetische Schicksal eines isolierten Systems.

Alle Veränderungen im Inneren eines isolierten Systems, haben als Folge die Erhöhung seiner Entropie. Jede Energieumwandlung ist begleitet von der Umwandlung einer gewissen Menge von Energie irgendeiner anderen Form in Wärme. Wärme kann sich in eine andere Energieform umwandeln nur unter der Voraussetzung, dass eine Wärmemenge aus höherer Temperatur in niedrigere übergeht. Die Zukunft des Systems ist vorgeschrieben. Nach und nach werden alle Energieformen des Systems in Wärme übergehen, und jeder Temperaturunterschied wird verschwinden. Das System wird nur Wärmeenergie besitzen und wird überall eine einheitliche Temperatur haben. Dann wäre keine Veränderung mehr mögliche. Der ***thermische Tod*** des Systems wäre eingetreten.

Da ja das Universum (der ganze Kosmos mit all der Materie und der Energie, die er hat) ein isoliertes System ist (es existiert außerhalb von ihm nicht etwas anderes, mit dem Energieaustausch möglich wäre), ist es ebenfalls zu dem gleichen Schicksal verurteilt. Der thermische Tod des Universums ist unausweichlich.

Thermodynamik und Wahrscheinlichkeit

Welche Zustände bevorzugt die Natur?

Gemäß alledem und dem was im Anhang über die Ordnung und dem Zufall steht, müssen wir einsehen, dass hinter dem Zweitem Hauptsatz sich nichts Mysteriöses verbirgt. Die Tendenz zur Erhöhung der Entropie, zur Erhöhung der Unordnung, ist nichts anderes als die Tendenz der Natur wahrscheinlichere Zustände den weniger wahrscheinlichen vorzuziehen. Aber das ist ja selbstverständlich. "*Wahrscheinlich*" bedeutet genau dies. Es handelt sich nicht um eine "Laune" der Natur.

Wollen wir aber das Beispiel betrachten, was in der Thermodynamik oft verwendet wird: Wenn wir eine Schachtel mit schwarzen und roten Kugeln haben, und wir sorgen dafür, dass die schwarzen und die roten auseinander liegen, dann haben wir ein System mit erhöhter Ordnung und niedriger Entropie. Um diese Anordnung "all die roten auf der einen Seite" zu erreichen, müssen wir besondere Sorge tragen z.B. all die Kugeln einzeln mit der Hand auf ihren Platz stellen. Hätten wir die Kugeln wahllos, ohne Bevorzugung in die Schachtel geworfen, wäre die Wahrscheinlichkeit, dass alle roten auf eine Seite kommen sehr klein.

Wenn wir nun den Kugeln die Möglichkeit geben (in dem wir z.B. die Schachtel schütteln) ihren Platz zu wechseln (die thermische Bewegung macht exakt dies, bewegt die Moleküle in dem Raum) wissen wir schon was passieren wird. Das System wird zu seinem wahrscheinlicheren Zustand übergehen, dem Zustand, den wir hätten, wenn wir die Kugeln wahllos in die Schachtel geworfen hätten.

Das was unsere Logik besagt und unsere Erfahrung beweist, genau das lehrt der Zweite Hauptsatz:

Ein sich selbst überlassenes System,
d.h. wenn keine ordnenden Kräfte
wirken, neigt zu seinem
wahrscheinlicheren Zustand.

Wenn wir eine mathematische Verarbeitung dieser Gedanken machen wollen, erscheint etwas sehr Interessantes. Es stellt sich heraus, dass die Entropie ein **Maß der Wahrscheinlichkeit** und zugleich ein **Maß der Unordnung** des Systems ist und somit mit der **Information** in Beziehung steht.

Etwa in der Mitte des 20. Jahrhunderts haben wir angefangen zu verstehen, dass Information nicht etwas Abstraktes und Unklares, sondern eine Grundgröße im Sein des Kosmos¹¹ ist. Eine Größe die quantifiziert und gemessen werden kann. Und zwar eine Größe, die bei weiterer mathematischer Behandlung zu ähnlichen logarithmischen Beziehungen wie die Entropie führt.

Die Entropie als Maß unserer Unkenntnis über den Zustand des Systems (Maß der Unordnung, der Desorganisation des Systems) und die Information als Maß unserer Kenntnis (Maß der Ordnung, der Organisation) konkurrieren und ergänzen sich gegenseitig. Sie bilden die zwei Seiten des Kosmos, und ihr Wettkampf offenbart die grundlegenden Kräfte, die ihn in Bewegung halten.

Neben der Neigung zur Erhöhung der Entropie, Neigung zur Desorganisation, die zur Zerstörung der bestehenden Strukturen führt, stellen wir fest, dass die Neigung zur Erhöhung der Information (Erhöhung der Organisation) existiert. Diese Neigung hat einige Systeme zu solchem Grad der Organisation (solcher Konzentration der Information) geführt, dass sogar das erstaunliche Phänomen des Lebens erscheint. Eine weitere Analyse dieses Themas geht über die Grenzen der "traditionellen Thermodynamik" und wird daher nur im Anhang unternommen.

¹¹ Sehr interessant und enthüllend der Bedeutung dieser Größe ist die Definition der Information nach Norbert Wiener:

**Information ist Information.
Ist weder Materie noch Energie.**

Diese Definition, die an sich nur eine Wiederholung ist und eher wie ein Witz klingt, ist in Wirklichkeit das Geständnis unserer Unfähigkeit eine Definition zu haben und zeigt, dass wir es in diesem Fall, so wie bei der Materie und der Energie, mit einem Grundelement des Kosmos zu tun haben.

Anhang

Ordnung und Unordnung

Die Wärmebewegung ist unordentlich

Grundlage unserer heutigen Auffassung für die Thermodynamik bildet die Kinetische Theorie der Wärme, die sich auf die Kinetische Gastheorie stützt, nach der die Gasmoleküle in ständiger Bewegung sind. Wärme ist nichts anderes als kinetische Energie der Moleküle. Die Gasmoleküle¹², wie jeder bewegte Körper, speichern kinetische Energie je nach ihrer Masse und Geschwindigkeit. Bei niedrigerer Temperatur ist die Geschwindigkeit der Moleküle kleiner, also ist ihre kinetische Energie und somit die Wärmeenergie die sie beinhalten kleiner. Bei höherer Temperatur ist die Geschwindigkeit grösser, also ist deren Wärmeenergie ebenfalls größer.

Von der anderen Seite kennen wir, dass kinetische Energie eines Körpers mechanische Energie ist, die sich jeder Zeit in eine andere Energieform umwandeln lässt. Wir können sie ausnützen, um irgendeine Arbeit zu bewältigen. Zum Beispiel ein Gewicht hoch zu heben. Ist dies nicht das was im Pendel geschieht? Ist nicht die kinetische Energie im tiefsten Punkt diejenige, die es nachher hochhebt? Warum können wir nicht die Wärme, die ja gar nichts anderes als kinetische Energie ist, sofort in irgendeine andere Energieform umwandeln?

Liegt es vielleicht daran, dass die Moleküle sehr klein sind? Wenn wir über einen natürlichen Körper reden, meinen wir, dass er eine beachtliche Masse hat, sodass die kinetische Energie einen stattlichen Wert haben kann. In einem einzelnen Molekül bei seiner vernachlässigbar kleinen Masse, wie viel kinetische Energie kann gespeichert werden? Selbstverständlich ist dieser Gedanke falsch. Auch der größte Körper besteht aus einzelnen Molekülen, und seine gesamte kinetische Energie ist nichts anderes als die Summe der kinetischen Energie, die jedes einzelne Molekül nach seiner Masse und Geschwindigkeit speichert.

Auch wenn die Moleküle weit auseinander liegen, das heißt in einem Gas, und diese Gas Masse ist in Bewegung (Wind), können wir durch die geeignete Anordnung (Windmühle) die kinetische Energie ausnützen, um irgendeine Arbeit zu erledigen. Warum können wir es nicht mit der thermischen Energie ebenfalls tun? Ist es vielleicht, weil die Geschwindigkeit der Moleküle bei der thermischen Bewegung nicht nennenswert ist? Weit

¹² Die Theorie hat sich zunächst mit den Gasen befasst, das gleiche gilt jedoch für die Flüssigkeiten und die Festkörper.

gefehlt. Eine Windmühle kann schon bei Windgeschwindigkeit von 5 ms^{-1} funktionieren. Die Geschwindigkeit der Gasmoleküle wegen der thermischen Bewegung ist bereits bei Zimmertemperatur etwa hundertmal größer.

Es muss also an etwas anderem liegen, und wir wissen woran. In einem bewegten Körper (auch in dem Wind) bewegen sich alle Moleküle unabhängig von deren thermischen Bewegung in der gleichen Richtung. Alle Geschwindigkeitsvektoren haben für diese einheitliche Bewegung eine wenn auch noch so kleine Komponente in der gleichen Richtung. Unter diesen Umständen können wir schon eine Maschine konstruieren, welche die kinetische Energie ausnützen kann.

Die Flügel der Windmühle werden unablässig, ob Wind weht oder nicht, von den Luftmolekülen getroffen, die bei Geschwindigkeiten von hundert von Metern in der Sekunde auf sie stoßen. Nur diese Stöße kommen **aus allen Richtungen**. In welcher Richtung sollte sich die Windmühle drehen? Wenn aber alle Moleküle, außer dieser thermischen Bewegung, noch eine Bewegungskomponente haben, wenn auch nur mit einem hundertstel der Geschwindigkeit aber **in der gleichen Richtung**, dann ja. Dann weiß die Windmühle in welche Richtung sie drehen soll, und wir wissen auch wie wir die kinetische Energie ausnützen können.

Der großer Unterschied zwischen einem bewegten und einem warmen Körper ist, dass die thermische Bewegung in **jeder Richtung im Raum** erfolgt ohne einen besonderen Vorzug. Die wichtigste Eigenschaft der thermischen Bewegung ist, dass **diese Bewegung unordentlich ist**.

" Der Maxwellsche Dämon " ...

Auf der Molekularebene jedoch gibt es keinen Unterschied. Kinetische Energie ist kinetische Energie. Wenn wir eine Windmühle bauen könnten, welche die Bewegung des einzelnen Moleküls wahrnimmt und sie ausnützen kann (für die winzig kleine Zeitdauer während das Molekül die Richtung seiner Bewegung beibehält), dann könnten wir seine kinetische Energie ausnützen. Wir können aber leider eine solche Maschine nicht bauen. Woraus könnte irgendeine Maschine bestehen, wenn nicht aus einer ungeheuer großen Menge von Molekülen? Ein solches System würde aber die Molekularstöße aus allen Richtungen bekommen, so dass es wiederum "unerschließlich" unbewegt bleiben würde.

Eine Maschine bauen können wir nicht, Maxwell jedoch kam auf eine andere Idee. Wenn wir ein Gefäß hätten voll mit einem Gas und mit einer Trennwand in der Mitte, hätten wir in beiden Räumen rechts und links der Wand die gleiche Temperatur und somit die gleiche Geschwindigkeitsverteilung der Moleküle. Wenn wir nun eine kleine Öffnung mit ei-

nem Türchen in der Trennwand vorgesehen hätten und einen "Dämon" damit beauftragt hätten, das Tor zu beaufsichtigen, könnten wir folgendes machen: wenn der Dämon sehen würde, dass ein schnelles Molekül von rechts zu der Öffnung hin steuert, würde er die Tür aufmachen, käme ein langsames, würde er die Tür schließen. Das Gegenteil würde er für die Moleküle der linken Kammer tun. Er würde nur die langsamen passieren lassen.

Nach einer gewissen Zeit hätten wir dann in der rechten Kammer Moleküle mit kleiner Geschwindigkeit, also ein Gas niedriger Temperatur und in der linken Kammer Moleküle mit höherer Geschwindigkeit, also ein Gas mit größerer Temperatur. Indem wir nun zwei Wärmereservoirs unterschiedlicher Temperatur besitzen, könnten wir eine Wärmekraftmaschine arbeiten lassen und Wärme in mechanische Energie umwandeln. Somit hätten wir den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik hintergangen, da wir es fertig gebracht hätten aus einem Gas einheitlicher Temperatur ausgehend, Wärme in mechanische Energie umzuwandeln.

Was ist denn hier eigentlich passiert? Hier haben wir eine Umkehrung des natürlichen Ganges der Dinge. Was wir aus unserer Erfahrung kennen ist, dass, wenn wir etwas Warmes neben etwas Kaltem stellen, im Laufe der Zeit beide die gleiche Temperatur haben werden. Wenn wir ein warmes Gas links und ein kaltes rechts haben und eine Öffnung in der Trennwand anbringen, werden die schnellen Moleküle von links nach rechts wandern und die langsamen von rechts nach links. Beide Gase werden sich gerade wegen ihrer thermischen Bewegung vermischen. Aus der anfänglichen **Ordnung** (schnelle und langsame Moleküle getrennt) werden wir im Laufe der Zeit zu der **Unordnung** geraten (schnelle und langsame Moleküle zufällig im Raum vermischt).

Das ist eine Folge des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik. Oder vielleicht eine neue Art seiner Darstellung. Die Tendenz zur Erhöhung der Entropie ist nichts anderes als die Tendenz eines Systems von irgendeinem geordneten Zustand den es hatte, auf einen ungeordneten überzugehen¹³. Die Tendenz zur Abschaffung der Unterschiede. Die Tendenz zur "Herabstufung".

Es ist interessant zu merken, dass diese Tendenz zur Erhöhung der Entropie, "**das unerbittliche Gesetz des Verfalls**", wie es die Dichter und Philosophen nennen, bei dem Verlauf der **Zeit** sich manifestiert. Es muss Zeit verstreichen damit es sich bemerkbar macht. Die Zeit ist diejenige die dazu führt, dass ein System **seinem Schicksal überlassen**, das heißt Einflüssen, die kein konkretes Ziel haben, von der Ordnung zur Unordnung übergeht.

Die Zeit kann kurz oder lang sein je nach dem Phänomen. Eine Kristallvase bricht beim Fallen und verteilt ihre Teile in der Größenordnung der Sekunde. Ein "ordentlich eingerichtetes" Zimmer wird "durcheinander" in

¹³ Den Grund dafür kennen wir ja gut. Das ist die nie aufhörende ungeordnete thermische Bewegung.

der Größenordnung des Tages. Eine Pyramide in Ägypten wird zu Wüstensand in der Größenordnung von 10.000 Jahren.

Wenn wir den Lauf der Zeit umkehren könnten, würden wir die umgekehrte Tendenz feststellen. Die Tendenz der Schaffung von Ordnung aus der Unordnung. Wenn wir die Phänomene gefilmt hätten und den Film von hinten nach vorne gezeigt hätten, würden wir den Sand nach und nach eine Pyramide bauen sehen, das Zimmer sich selbst aufräumen, die Scherben gegeneinander zulaufen und eine Vase formen.

Eine solche Umkehrung hat der *Maxwellsche Dämon* erreicht. Er hat aus der Unordnung Ordnung geschaffen. Nur dass er nicht den Lauf der Zeit umgekehrt hat. Er hat etwas anderes getan. Er hat die **Information** ausgenutzt, die er über die Geschwindigkeit jedes Moleküls abgewinnen konnte.

Überlegungen über die Beziehung zwischen Entropie und Information haben wir schon angestellt. Hier wäre nur zu bemerken, dass der zweite Hauptsatz der Thermodynamik und der mit ihm verbundene Begriff der Entropie¹⁴ uns, außer mit der Materie und der Energie, auch mit dem **Raum**, der **Zeit** und nun auch noch mit der **Information** in Kontakt gebracht hat. Das heißt mit den Grundelementen die den Kosmos ausmachen und die Gesetze gestalten die ihn regieren.

... und "der Boltzmannsche Ziegelstein"

Wir könnten jedoch denken, ob wir vielleicht die Hilfe des "Dämons" gar nicht brauchen. Die Moleküle ändern ständig ihre Stelle im Raum. Könnte es nicht passieren, dass sich einmal alle langsamen rechts und alle schnellen links befinden? Ohne sie zu sortieren, rein **zufällig**. Oder es könnte etwas anderes passieren: dass sich links mehr Moleküle als rechts befinden. Dann hätten wir höheren Druck links und niedrigeren rechts, und somit könnten wir eine Maschine laufen lassen, die den unterschiedlichen Druck ausnützt, um mechanische Arbeit zu erzeugen.

Boltzmann hatte dazu eine andere sehr anschauliche Idee. Warum unsere Hoffnung auf eine ungleiche Verteilung der Moleküle im Raum setzen und nicht auf eine ungleiche Verteilung der Vektoren ihrer thermischen Bewegung im Raum. Diese Bewegung ist gewöhnlich ungeordnet. Jedes Molekül bewegt sich in einer verschiedenen Richtung. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass irgendeinmal diese Bewegungen für alle Moleküle in der gleichen Richtung stattfinden. Wenn die Bewegungen aller Mole-

¹⁴ So wie der Begriff der Energie von seiner Natur her mit dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik verbunden ist, so ist der Begriff der Entropie verbunden mit dem zweiten Hauptsatz.

küle zusammenfallen, dann würde der ganze Körper sich in dieser Richtung bewegen, wir hätten direkt mechanische Energie und wir bräuchten nicht einmal eine Maschine, um Temperatur- oder Druckunterschied in Arbeit umzuwandeln.

Ja sogar ein Ziegelstein den man irgendwo abgelegt hat, würde plötzlich in die Höhe schleudern, wenn in diesem Moment die Geschwindigkeitsvektoren (wenn nicht aller, zumindest der meisten) seiner Moleküle nach oben (wenn nicht exakt, zumindest in etwa) zeigen würden. Mit einem solchen Ziegelstein (der unter dem Namen *Boltzmannscher Ziegelstein* bekannt ist, weil Boltzmann, um seine diesbezüglichen Gedanken darzulegen, einen Ziegelstein mitbrachte und auf das Podium des Hörsaals legte wo er seine Vorlesung hielt) würden wir vollständig Wärme in Arbeit umwandeln, und wir hätten dem zweiten Hauptsatz Lüge gestraft.

Hier könnte jemand mit Recht denken, dass der zweite Hauptsatz etwas nicht absolut Sicheres sei. Es war falsch ihn als grundlegendes Gesetz des Kosmos zu betrachten. Er könnte genauso gut ungültig sein. Tatsächlich verbietet nichts, dass ein Ziegelstein plötzlich von alleine nach oben schießt. Es ist zwar so etwas noch nicht beobachtet worden, dies könnte jedoch daran liegen, dass noch nicht genügend systematische Versuche unternommen wurden. Wer dieser Meinung ist, das Beste was er machen kann, ist einen Versuch zu starten. Er soll einen Ziegelstein vor sich stellen und beginnen ihn zu beobachten. Vielleicht wird er "**der Glückliche**" sein, der eine so wichtige Entdeckung machen würde. Wenn er allerdings des Wartens müde wird, könnte er sich vielleicht entschließen, anstatt weiter zu warten, die letzten Kapitel dieses Anhangs zu lesen.

In all diese schönen Gedankengänge haben wir die Anwesenheit des "**Dämons**" durch die Intervention des "**Glücks**", der Göttin *Tyche*¹⁵ ersetzt. Es ist sehr interessant festzustellen, mit welchen Begriffen der zweite Hauptsatz uns in Kontakt bringt. Nachdem er uns zu den grundlegenden Begriffen der natürlichen Welt führte, sind wir nun konfrontiert mit den Konstruktionen unseres Geistes, die unsere tiefsten Ängste und Hoffnungen darstellen.

Da bei all dem der Begriff **Zufall** eine grundsätzliche Rolle spielt, wäre es ratsam uns hier mit ihm etwas näher zu befassen.

Zufall und Unwissenheit

"...in dem Moment, als das Auto sich auf dem unbewachten Bahnübergang befand, fuhr zufällig der Schnellzug Athen - Thessaloniki vorüber..."

¹⁵ *Τύχη*, Tochter des *Ωκεανός* (Ozean). Sie bringt die Geschenke und führt unser Leben. Ausgesprochen unbeständig. Die römische *Fortuna*.

So etwa wird gewöhnlich der Begriff "*Zufall*" angewandt. In Wirklichkeit beschreiben wir damit nur unsere Unwissenheit. Der Moment, in dem der Zug sich an dem Bahnübergang befinden sollte, war seit langer Zeit vorbestimmt. Seitdem nämlich die Bahndirektion den Fahrplan aufstellte. Der Autofahrer hat es einfach nicht gewusst. Für ihn erschien der Zug zufällig auf seiner Bahn. Hätte der Zug das Auto mitgerissen, so wäre der böse Dämon des Autofahrers daran schuld. Wäre der Fahrer gerettet, dann hätte er das seinem guten Glück, der lieben Göttin *Tyche* zu verdanken. Götter und Dämonen haben diese Beschäftigung. Sie verfolgen uns auf Schritt und Tritt und schleudern entweder die Schnellzüge¹⁶ auf uns "als Strafe für unsere bösen Taten", oder halten sie in letzter Sekunde auf als "Belohnung für unser gutes Benehmen".

Das Beispiel ist selbstverständlich übertrieben. Das Wissen über die Bewegung der Züge ist heutzutage genügend verbreitet, so dass die Autofahrer nicht das Horoskop oder die Tarot-Karten zu Rate ziehen müssen, um sie vorherzusehen. Durch den Verkauf von "*Amuletten gegen Züge*" könnte man schwerlich reich werden. Es gibt jedoch andere Betätigungsfelder, auf denen die Ausnutzung der Unwissenheit unermessliche Profitmöglichkeiten anbietet. Die **Angst** und die **Hoffnung**, die beiden Tyrannen unseres Geistes, werden von der Unwissenheit genährt. Und sie bilden den passenden Boden, auf dem gigantische Organisationen entstehen können. Die Gewinne der Versicherungsgesellschaften basieren auf der Verwertung des "*Rohstoffes Angst*". Die entsprechenden Profite der Lotterien und der Kasinos auf der *Hoffnung*. Der Leser kann sich überlegen, welche anderen Institutionen oder Personen er kennt, die das eine oder das andere oder beides ausnützen, um zu Geld, Macht, Ruhm und sonst noch etwas zu gelangen.

Können wir alles vorhersagen?

Obwohl unsere Kenntnis sich ständig erweitert, bleibt noch genug Raum für die Unwissenheit, für den "Zufall". Die Naturwissenschaften finden laufend und mit immer größerer Genauigkeit die Gesetze, welche den Verlauf der Naturphänomene bestimmen, so dass deren Folge mit immer größerer Genauigkeit vorhergesagt wird. Auf diesen Kenntnissen basierend führen die Ingenieurwissenschaften zu immer imposanteren Anwendungen. Es gibt allerdings noch Gebiete, in denen unsere Möglichkeit zur exakten Vorhersage beschränkt ist. Zwar schrumpfen diese Gebiete ständig, können wir aber daraus schließen, dass das "Zufällige" eines Tages ganz verschwinden wird? Dass wir in der Lage wären, jegliches Phänomen mit beliebiger

¹⁶ Früher, als es die Schnellzüge nicht gab, hat Zeus den Blitz herunter geschleudert.

Genauigkeit vorhersagen zu können? Oder wird immer ein Anteil von Unwissenheit übrig bleiben, den wir "Zufall" nennen werden?

Es gäbe allerdings einen Fall, bei dem wir endgültig zur Unwissenheit verurteilt wären: wenn nämlich in der Natur Ereignisse auftreten würden, die keinerlei Gesetzmäßigkeit unterlägen. Die Frage ist gerechtfertigt und seit langem gestellt: Gibt es vielleicht manche Phänomene, hinter denen kein Gesetz steht? Kein gesetzmäßiger Zusammenhang, welcher die Ursache mit der Wirkung verbindet? Dann wäre das Resultat **tatsächlich zufällig** (ohne Anführungszeichen) und es wäre dann unmöglich, es je vorauszusagen.

Manche glauben an so etwas, oder besser gesagt: sie möchten gerne an so etwas glauben. Ihnen gefällt der Gedanke nicht, dass alles, was in der Welt passiert, die Folge einer unnachgiebigen gesetzmäßigen Notwendigkeit ist. Sie möchten gern, dass manche Dinge "*einfach so*" ohne **Grund**¹⁷ geschehen. Oder zumindest aus Gründen, die nicht von dieser Welt sind. Deren Quelle "*irgendwo draußen*" liegt, so dass ihre Erkennung unmöglich ist. Wo auch immer wir noch kein Gesetz gefunden haben, sagen sie gleich voll Freude: "Seht Ihr, da ist der Beweis. Es gibt kein Gesetz, und deswegen habt Ihr es nicht gefunden, und Ihr werdet es selbstverständlich niemals finden".

Andere glauben genau an das Gegenteil: Gesetze herrschen über alle Phänomene. Was in der Natur geschieht, ist das Resultat einer strengen Notwendigkeit. Der Zustand jedes Systems und jedes Phänomens in diesem Augenblick ist die unvermeidbare Folge seines Zustandes zum genau vorherigen Zeitpunkt. Sein jetziger Zustand bestimmt absolut seinen Zustand im nächsten Moment. Sie sind die Anhänger des **Determinismus** oder der "*Griechischen Denkweise*".

Was wir heute "*Physikalisches Denken*" nennen (welches die Suche nach den in der Natur herrschenden Gesetzmäßigkeiten ist), geht von der fundamentalen Voraussetzung¹⁸, von der Annahme aus, dass es für jedes Geschehen in der Natur eine Gesetzmäßigkeit gibt, die es steuert, eine Notwendigkeit der es unbedingt gehorchen muss.

Dieser Gedanke (diese Hypothese, dieses Axiom) von der Existenz der physikalischen Notwendigkeit ist vermutlich der wichtigste Beitrag des altgriechischen Denkens zur Entwicklung der Menschheit. Indem die **An-*ange***¹⁹ höher als sogar die Götter gestellt wurde, wurde der Mensch vom Aberglauben und dem Mystizismus befreit, und der Weg war frei für

¹⁷ Das griechische Wort **λόγος** für Grund bedeutet zugleich *Vernunft, Ziel, Wort* und noch manches mehr.

¹⁸ Man sucht wohl nicht nach Etwas, wenn man nicht glaubt, dass es dieses Etwas gibt.

¹⁹ *Ανάγκη*, Tochter des **Κρόνος** (Saturn). Es gibt nichts Stärkeres als sie. Sowohl Sterbliche wie Götter müssen sich ihr beugen.

das Studium des Kosmos, für die Naturwissenschaften und für die technische Zivilisation.

Die Frage bleibt jedoch bestehen: Wer waltet tatsächlich über den Kosmos, der Zufall oder die Notwendigkeit? Wenn wir konsequent sein wollen, müssen wir zugeben, dass wir die Antwort nicht liefern können, solange auch nur noch ein Phänomen existiert, dessen Gesetzmäßigkeit wir noch nicht erkannt haben. Die einen dürfen an das eine glauben, die anderen an das andere.

Es ist zwecklos, solchen Einstellungen, die **Glaubens Standpunkte** sind, Argumente entgegenzubringen. Das einzige, was man eventuell tun kann, ist darauf hinzuweisen, dass wir nicht vergessen dürfen, dass ständig neue Gesetze gefunden werden. Der Raum, für den man behaupten könnte, dass dort keine Gesetzmäßigkeit waltet, war gestern sicherlich größer als heute. Wird er morgen vielleicht noch kleiner sein?

Schwierigkeit der Voraussage wegen Besonderheit des Gesetzes

Die praktische Frage ist jedoch eine andere: Angenommen, es gibt ein Gesetz, und wir kennen es, bedeutet das dann, dass, wenn wir die Ursachen, die Anfangsbedingungen kennen, auch das Resultat kennen? Wie groß ist die Genauigkeit bei der Voraussage des Ausgangs eines Phänomens?

Man braucht nicht auf die extreme Hypothese des Fehlens einer Gesetzmäßigkeit zurückzugreifen, um anzuerkennen, dass unsere Möglichkeiten der Prognose von Fall zu Fall unterschiedlich sind. Wenn wir einen Stein fallen lassen, können wir mit großer Genauigkeit die Zeit und die Stelle voraussagen, an der er auf die Erde trifft. Wenn wir das "Experiment" einige Male wiederholen, indem wir den Stein immer wieder von der gleichen Stelle fallen lassen, werden wir nur geringe Abweichungen am Resultat feststellen. Nur minimal wird der Fall-Ort oder die Falldauer variieren. Wenn wir statt des Steins ein Blatt Papier fallen lassen, ist unsere Fähigkeit zur Prognose stark dezimiert. Wenn wir das Blatt von der gleichen Stelle fallen lassen, nimmt es jedes Mal einen anderen Lauf. Es gelangt manchmal hier-, manchmal dorthin, braucht mal wenig, mal lange Zeit dafür. Zwar können wir wohl eine Prognose stellen, nur ist sie diesmal viel gröber als im Fall des Steines.

Niemand kommt auf die Idee zu behaupten, dass im ersten Beispiel die Naturgesetze gelten und im anderen nicht. In beiden Fällen gelten die gleichen Gesetze, und wir kennen sie. Es sind: das Fallgesetz, das Gesetz der Bewegung in einem Fluid (wenn wir die Luft auspumpen, fällt das Papier genauso wie der Stein) und das Gesetz der Gestaltänderung unter der Einwirkung von Kräften. Der einzige

Unterschied ist, dass im Fall des Steines wegen seiner kleinen Oberfläche in Bezug auf sein Gewicht und wegen seiner Unnachgiebigkeit, die Bewegung hauptsächlich vom Fallgesetz bestimmt wird, während das Blatt mit der großen Oberfläche zu schwenken, sich zu biegen und zu kreisen beginnt.

Die neuen Ansichten in Bezug auf das **Chaos**²⁰ (wo die Unordnung und die Unfähigkeit zur Voraussage herrscht), halfen uns zu vergegenwärtigen, dass wir nicht das Fehlen einer Gesetzmäßigkeit anzunehmen brauchen, um die Entstehung des Chaos zu erklären. Es reicht, wenn in der mathematischen Beschreibung des Phänomens solche Beziehungen auftreten, deren Resultat so stark von den Anfangsbedingungen abhängt, dass minimale Änderungen der Anfangsbedingungen "dramatische" Änderung am Resultat zur Folge haben. Solcherart sind die Beziehungen, welche die Bewegung in einem Fluidum beschreiben und sie sind es, die das unvorhersehbare Benehmen des Papiers verursachen.

Bei solchen Phänomenen, die wir oft in der Natur antreffen, können wir durch Vermehrung der Kenntnisse über die Anfangsbedingungen unsere Fähigkeit zur Prognose ständig verbessern und dadurch den "Zufall" weiter beschränken. Dies bedeutet allerdings nicht, dass wir erwarten können, eines Tages das Resultat mit unbeschränkter Genauigkeit voraussagen können, denn dafür wäre die Kenntnis der Anfangsbedingungen mit unbeschränkter Genauigkeit²¹ nötig. Die Genauigkeit unserer Prognose können wir ständig verbessern (das tun wir ja andauernd), die unbeschränkte Genauigkeit aber hat keinen Sinn in der Praxis zu suchen.

In der Mathematik haben wir keine Bedenken, den Begriff des Unendlichen zu verwenden. Wir sagen oft: "diese Zahl hat unendlich viele Dezimalstellen". In der Praxis verliert der Begriff des Unendlichen seinen Sinn. Die Welt ist begrenzt, und unsere Fähigkeit zur genauen Kenntnis noch begrenzter. In der Mathematik können wir behaupten, dass zweimal zwei mit absoluter, unbeschränkter Exaktheit vier ergibt. In der Praxis wissen wir, dass die Fläche eines Quadrates, dessen Seite wir gemessen und zwei Meter lang gefunden haben, ungefähr vier Quadratmeter ist, denn auch die zwei Meter der Seite sind nur ungefähr zwei. Sie sind zwei mit der Genauigkeit der wenigen Ziffern, mit der wir messen können. Mit der Forde-

²⁰ **Χάος**, eine dunkle Wolke. Ursubstanz der Kosmogonie. Nach anderer Auffassung, wurde das Chaos von der Zeit geboren, welche die eigentliche Ursubstanz ist.

²¹ Es ist gar nicht erforderlich, auf solche imposanten Fälle wie die Bewegung des Papierblattes zurückzugreifen. Auch den Steinfall können wir bloß mit beschränkter Genauigkeit voraussagen. Nur ist die Annäherung diesmal besser und für gewöhnliche Bedürfnisse ausreichend.

rung der Mathematik nach unbeschränkter Genauigkeit hat dies überhaupt nichts zu tun.

Schwierigkeit der Voraussage wegen Komplexität

Noch ein Grund, der die genaue Prognose erschwert, ist die Komplexität der Phänomene. In der kinetischen Gastheorie können wir die Bewegung eines einzelnen Moleküls eines Idealgases beschreiben. Wenn ein Molekül allein sich in einem Gefäß mit bekannten Dimensionen befindet, und wir kennen seinen Ort und seine Geschwindigkeit in einem bestimmten Moment, können wir seinen Ort in einem zukünftigen Moment²² voraussagen. Sind es zwei Moleküle, wird die Berechnung wesentlich schwieriger sein, nicht nur weil wir nun zwei Abläufe betrachten müssen, sondern weil jetzt die Kollisionen der Moleküle untereinander hinzukommen.

Wenn wir zwei Moleküle haben, müssen wir wissen wann an welchem Ort unter welchem Winkel der Zusammenstoß stattfindet, um die Werte der Bewegungscharakteristika jedes Moleküls nach der Kollision berechnen zu können. Dies ist nicht etwas Unmögliches. Wir können es tun. Nur die Rechenarbeit wächst. Und sie wächst natürlich um das Vielfache, je mehr Moleküle wir in Betracht ziehen. Ein moderner großer Rechner könnte das Problem mit einigen Molekülen bewältigen. Wie ist es aber, wenn die Moleküle Tausende oder Millionen sind? Aber die Tausende und die Millionen sind vernachlässigbar kleine Zahlen im Vergleich mit der Zahl der Moleküle eines Gases, die für einen Liter unter Normalbedingungen in der Größenordnung von 10^{22} liegt. Welche Rechnung könnte man dort anstellen?

²² Das allerdings alles nur in der Theorie. Denn in der Praxis, falls wir es anwenden wollten, wäre es ganz gut, wenn dieser zukünftige Moment nicht allzu weit entfernt wäre. Je weiter wir unsere Prognose in die Zukunft projizieren, desto kleiner ist die Exaktheit unserer Prognose wegen der beschränkten Kenntnis der Anfangsbedingungen. Und noch etwas. Die Wände des Gefäßes haben wir uns völlig glatt vorgestellt. Das ist in der Praxis unmöglich. Wie sehr wir unsere Technik zur Herstellung glatter Oberflächen entwickelt haben, eine Oberfläche wird niemals einheitlich sein. Sie wird aus einzelnen Molekülen oder Atomen bestehen, von denen jedes Einzelne seine eigene thermische Bewegung hat. Das was unser Molekül beim Anstoßen an der Wand treffen wird, ist keine glatte Ebene sondern ein Atom oder Molekül, das in dem Moment des Zusammenstoßes seine eigene thermische Bewegung hat, deren Charakteristika wir kennen sollten, um eine korrekte Prognose aufstellen zu können.

Es ist offensichtlich, dass wir dadurch nur wenig Hoffnung haben zu erfahren, wo die Moleküle eines Gases sich in der Praxis befinden. Die Frage ist jedoch, wie sehr wir diese Kenntnis brauchen. Wozu ist es nützlich zu wissen, wo jedes Molekül eines Gases sich in jedem Moment befindet? Das was uns interessiert, ist das Verhalten des Ganzen zu beschreiben. Und hier wird die große Anzahl, welche die detaillierte Einzelberechnung hindert, zu unserem Alliierten. Sie erlaubt das Problem statistisch zu behandeln. Wir können von der Gesetzmäßigkeit, die zugrunde liegt absehen, die Verteilung der Moleküle im Raum als zufällig, alle Ausgänge des Phänomens als gleichwertig, alle Verteilungsmöglichkeiten als gleich wahrscheinlich betrachten

Die biologischen Phänomene

Die ununterbrochene thermische Bewegung der Moleküle im Raum stellt, wie wir gesehen haben, ein ernstes Hindernis dar, in unserer Fähigkeit die Phänomene exakt vorauszusagen. Es ist als ob jemand dauernd den "Kartenstapel mischt" oder anders als Einstein glaubte, als ob "der liebe Gott ständig würfelt". Nun für unsere gewöhnlichen Bedürfnisse, wo wir uns nicht um ein einziges Molekül interessieren, löst uns die Statistik das Problem. Es gibt aber Fälle, bei denen der Verlauf eines Phänomens auf der Molekularebene, auf der Ebene von wenigen Atomen entschieden wird. Nicht nur im Labor, wo wir nun mehr in der Lage sind mit einzelnen Molekülen oder Atomen experimentieren zu können, sondern vor allem in den biologischen Phänomenen wo die enorme **Verstärkung** makroskopische Resultate bringt, die auf der Molekularebene entschieden wurden.

Zwei Beispiele sollen zum Verständnis der Bedeutung der Verstärkung bei diesen Phänomenen beitragen.

Wir vergessen sehr oft, dass die Eigenschaften jedes Organismus, so wie unsere persönlichen Eigenschaften auch, im Moment der Vereinigung zweier Moleküle, des mütterlichen und des väterlichen Stranges der DNA, bestimmt werden. Dort auf der Molekularebene, unter den ständigen Interventionen der thermischen Bewegung, wird zum Beispiel entschieden, ob der zukünftige Mensch die Augenfarbe des Vaters oder die Haarfarbe der Mutter haben wird. Ein einziges Molekül bestimmt wie eine um mehrere Zehnerpotenzen größere Materien Menge sich organisieren soll.

Das zweite Beispiel bezieht sich auf den chemischen Informationstransport. Es hat sich gezeigt, dass es ausreicht, wenn nur ein einziges Mole-

kül des geeigneten *Pheromons*²³ an die Antennen (die sind sein "Riechorgan") eines Insektes ankommt, um das entsprechende Verhalten auszulösen. Ein einziges Molekül bestimmt, wie das Ganze Insekt sich verhalten soll. Das Verhältnis der Masse des Pheromonmoleküls und dem Insekt ist etwa so groß wie zwischen einem Menschen und der ganzen Erde.

Noch ein . . . "Dämon"

Die Bewegung des Pheromonmoleküls durch die Luft, nachdem es den Körper des weiblichen Insektes verlassen hat, ist absolut gesetzmäßig. Sie ist das Resultat der thermischen Bewegung, das heißt den Kollisionen mit den Molekülen der Luft. Wenn wir den kinetischen Zustand jedes Moleküls mit dem das Pheromon Molekül kollidieren wird, kennen würden, wären wir in der Lage den ganzen Weg zu berechnen und vorauskennen. Dann könnten wir voraussagen, ob das Pheromon Molekül knapp neben der Antenne des männlichen Insektes vorbei passiert, oder ob es sie berührt, sodass das im Vergleich zu ihm gigantische Insekt in "Alarm" versetzt wird, seine Flügel zu schlagen und nach der Quelle des "Duftes" zu suchen beginnt.

Diese Kenntnis des kinetischen Zustands der Luftmoleküle wäre nur dann möglich, wenn wir die Kollisionen jedes einzelnen davon mit all den anderen, die es auf seinem Weg getroffen hatte, verfolgt hätten und so weiter. Also wir sollten alle Kollisionen aller Moleküle der Atmosphäre verfolgen.

Dies reicht allerdings nicht aus. Wir sollten auch genau die Wetterbedingungen kennen, da ja der kleinste Luftzug reichen würde, um die Bewegung des Moleküls, das uns interessiert zu ändern. Also wir müssten auch die Jahreszeit, das heißt die relative Lage der Himmelskörper zu einander kennen. Wir müssten letzten Endes den kinetischen Zustand aller Partikel des Universums kennen. Das heißt, wir bräuchten das, was "*der Dämon von Laplace*" genannt ist, ein System, einen großen Computer, der alle Gesetze der Wechselwirkung der Teilchen zu einander und dazu noch die Anfangsbedingungen für alle Teilchen kennen würde. Dieser Dämon würde alles wissen. Er kenne den Ausgang jedes Phä-

²³ Pheromone sind Substanzen, die vom Körper der weiblichen Insekten ausgesondert werden und die männlichen Insekten anlocken. Es sind ziemlich einfache organische Verbindungen mit wenigen Kohlenstoffatomen absolut spezifisch für die konkrete Spezies. Die kleinste Veränderung in dem Molekularaufbau macht sie absolut unwirksam, sie können aber dann vielleicht auf eine andere Insektenart wirken.

nomens im Voraus. Die Unwissenheit und mit ihr der "Zufall" würden verschwinden.

Wissend wie groß die Anzahl der Kollisionen bereits in einem Liter Gas ist, müssen wir große Skepsis äußern, ob eine solche Berechnung in der die ganze Materie des Universums einbezogen wird, möglich wäre. Mit unseren heutigen Möglichkeiten sicherlich nicht. Können wir aber voraussagen, dass sie auch in der Zukunft unmöglich sein wird? Einerseits werden unsere Möglichkeiten ständig verbessert²⁴, und andererseits die Anzahl der Berechnungen, die wir durchführen müssen, ist zwar sehr groß, aber sie ist nicht unendlich. Sie ist endlich, denn der Kosmos ist ebenfalls endlich.

Das Dumme ist jedoch, dass auch die Zeit, die uns zur Verfügung steht endlich ist. Wenn das Leben des Universums, wie es scheint, begrenzt ist (und das Leben der Erde noch kürzer), haben wir die nötige Zeit um den *Dämon von Laplace* zu konstruieren? Und wenn ja, wie lange wird er nachher brauchen um die Rechnung zu Ende zu führen? Und noch (und dies könnte der kritische Punkt sein) werden wir es schaffen Methoden zu entwickeln, die uns erlauben werden die Anfangsbedingungen mit der nötigen Genauigkeit zu kennen? Wir sollen nicht vergessen, dass wir für den Zeitpunkt an dem die Berechnung beginnt, den genauen Ort und den kinetischen Zuständen jedes einzelnen Teilchens des Universums wissen müssen. Wäre die nötige Exaktheit unendlich²⁵, wäre unser Versuch sowieso unmöglich, wie wir bereits erwähnten.

Der "Zufall" im Leben des Menschen

Wir wissen noch zu wenig darüber wie die Information in unserem Körper transportiert wird, und noch weniger, wie sie in unserem Zentralnervensystem verarbeitet wird. Es ist aber sehr wahrscheinlich, dass chemische Phänomene (wie im Fall des Pheromons) zu-

²⁴ Die Geschwindigkeit dieser Verbesserung wächst ständig. Nach einer Million Jahren wird der Unterschied der Möglichkeiten unserer Nachkommen viel größer sein als der Unterschied unserer Möglichkeiten zu den Möglichkeiten unseres Vorfahren, der vor einer Million Jahre in der Savanne lebte. Und wer weiß welche Möglichkeiten die Spezies haben wird, die uns nach einer Milliarde Jahren ablösen wird (wenn wir in der Zwischenzeit keine allzu große Dummheit machen, wird das Leben auf der Erde noch möglich sein), wenn für die gleiche Zeitspanne unsere "Vorfahren" nicht einmal richtige Einzeller waren.

²⁵ Falls sich herausstellen sollte, dass der Raum, sowie die Materie und die Energie, gequantelt sei, müsste ein Teilchen entweder an diesem oder an jenem Ort sein. Es gäbe keine Zwischenplätze. Dann wäre die Sache einfacher, da die Zahl, die seine Stelle beschreibt eine endliche wäre. Dies alles aber sind Vermutungen, die wir hier nicht weiterführen sollten.

mindest für den Transport und die Verarbeitung beteiligt sind. Es ist zum Beispiel bekannt, dass die Übertragung der "Nachricht" von der einen Nervenzelle auf die nächste durch den Ausstoß winziger Substanzmengen (das heißt beschränkter Anzahl von Molekülen) an der **Synapse**, dem Raum zwischen den Zellen, geschieht.

Chemische Phänomene finden auf der Molekularebene statt, und somit unterliegen sie dem "Zufall" der thermischen Bewegung. Die große Verstärkung, die in einem biologischen System stattfindet, präsentiert dieses "Zufällige" vergrößert als Veränderung des Verhaltens. "Zufällig" beginnt ein Schmetterling seine Flügel zu schlagen, weil "zufällig" ein Molekül des geeigneten Pheromons an seinen Antennen angelangt ist. Welcher der "**Generator des Zufalls**" ist, das kennen wir: es ist die thermische Bewegung der Moleküle. Ist es vielleicht etwa so zu erklären, warum ich "zufällig" mit meiner Hand mein Knie berühre, warum ich "zufällig" meinen Blick hebe um aus dem Fenster zu schauen, warum "zufällig" ein Gedanke in meinem Gehirn aufkommt? Kommt vielleicht letzten Endes das, was ich "Freiheit meines Willens" nenne, aus der gleichen Quelle des "Zufalls"?

Wie es auch immer sei, der "Zufall" spielt eine wichtige Rolle in unserem Leben. Die große Verstärkung, die Ursachen vergrößert welche so klein sind, dass wir sie gar nicht wahrnehmen können, macht unser Verhalten in hohem Grade unberechenbar. Und noch unberechenbarer ist die Wechselwirkung in den Beziehungen zwischen uns. Dort wo der Ausgang von dem Verhalten zweier Menschen abhängt, also zweier unvorhersehbarer Faktoren. Da treffen sich zwei Systeme, von denen jedes einen gewissen Prozentsatz der Unsicherheit und der Ungenauigkeit besitzt. Die Ungenauigkeit des Ausgangs ist um ein Vielfaches größer.

Das Beispiel, das wir am Anfang des Kapitels mit dem Treffen Zug und Auto gesehen haben, müssen wir genauer unter die Lupe nehmen. Der Fahrplan mag den Moment als der Zug an dieser Stelle vorbeikommt genau vorbestimmen, der Zugführer jedoch wie genau hat er sich daran gehalten? Wir wissen, dass es fast immer Abweichungen gibt (meistens Verspätungen) bis zu etlichen Minuten. Die Unsicherheit bei der Bewegung des Autos ist noch größer. Der Fahrer unterliegt einer wesentlich lockereren Kontrolle. Er kann langsamer oder schneller fahren, er kann den Zeitpunkt der Abfahrt ändern, ja sogar seine Route wechseln und überhaupt nicht über diesen Bahnübergang fahren.

Wenn wir nun, außer der Unsicherheit, die von den beiden Fahrern herrührt, noch berücksichtigen, dass äußere unberechenbare Faktoren hinzukommen (ein Zugreisender konnte seinen Koffer an der letzten Station nicht runterholen und verzögert dadurch die Abfahrt, eine Schildkröte hat sich in letzter Sekunde entschlossen, die Straße zu überqueren und den Fahrer zum Bremsen gezwungen), können wir verstehen, dass es sehr schwierig ist, das Treffen der zwei Fahrzeuge vorherzusagen. In der Ast-

ronomie²⁶ können wir die nächste Mondfinsternis mit großer Genauigkeit vorhersagen. Den nächsten Zusammenstoß zwischen einem Laster und einem Motorrad an der Kreuzung der Straßen Thales und Demokrit, und zwar welcher Lastwagen und welches Motorrad sie sein werden, können wir nicht voraussehen, er ist "zufällig".

Solche "zufälligen" Ereignisse jedoch spielen oft eine entscheidende Rolle in unserem Leben. Sie entscheiden manchmal über Leben und Tod²⁷. Aber auch im täglichen Leben befinden sich viele Ereignisse unter dem Einfluss des "Zufalls", also im Bereich der Unwissenheit. Glücklicherweise könnte man sagen. Vielleicht gerade dieses Unvorhergesehene ist das, was unser Leben zu einem so interessanten Abenteuer macht. Wie langweilig würde eigentlich unser Leben sein, wenn wir den Großen Computer in Betrieb genommen hätten, der alles ganz exakt voraussehen kann! Wenn wir schon vorher wüssten, dass wir am so-und-so-vielten des Monats, um diese Uhr, an dieser Stelle, diesen unseren Freund treffen werden, der uns genau dies sagen wird, was wir mit exakt diesen Worten beantworten werden.

Voraussage mit Hilfe der Statistik

Die Voraussage des Typs: "die konkreten Autos A und B werden zusammenstoßen" können wir schon treffen, aber nur wenn die Zeitspanne der Prognose sehr kurz ist. Wer einen Zusammenstoß verfolgt hat (in der Realität oder im Film) weiß, dass er kurz zuvor erkannt hat, dass der Aufprall nunmehr unvermeidbar war. Je größer die Zeitspanne der Prognose wird, desto kleiner wird die Genauigkeit unserer Prognose. Wir können schon annehmen, dass wir Methoden entwickeln werden, mit der wir die Zeit der Prognose vergrößern könnten. Zurzeit jedoch befinden wir uns in der Größenordnung der Sekunde. Wenn wir zum Beispiel eine Woche zuvor wissen wollen, ob der Zusammenstoß stattfindet oder nicht, ist unsere Fähigkeit zur Voraussage gleich null.

²⁶ Laplace mag "zufällig" zur Astronomie gekommen sein, seine Gedanken jedoch über seinen Dämon dürften nicht unabhängig von seinem Beruf sein.

²⁷ Was das Zweite angeht, man braucht bloß den Bericht über die Verkehrstopfer am Wochenende nachzuschlagen um sich zu überzeugen. Was das Erste angeht, ist es nicht fast immer so, dass es "zufällig" das erste Treffen der Paare war, das sie dazu führte, später zu heiraten und Kinder zu zeugen?

Wir können jedoch etwas anderes tun, und es ist sehr interessant. Wir können die Statistik benutzen, um vorherzusagen nicht welche Autos sondern wie viele Autos am kommenden Wochenende zusammenstoßen werden. Die Genauigkeit unserer Prognose wird nicht sehr groß sein, wenn wir aber die Anzahl der Zusammenstöße in den vorherigen Wochenenden betrachten, würden wir feststellen, dass sie keine sehr großen Abweichungen zeigt. Es ist nicht zum Beispiel so, dass das eine Wochenende 0 und das nächste 10.000 wäre. Wenn wir also, ohne uns große Mühe zu geben, einen Mittelwert für das kommende Wochenende voraussagen, würden wir keinen allzu großen Fehler machen.

Wenn wir nun die Exaktheit unserer Prognose verbessern wollen, müssen wir das Phänomen genauer studieren und andere Faktoren, die es beeinflussen in Betracht ziehen. Ob zum Beispiel sich an das Wochenende ein Feiertag anschließt, was den Verkehr erhöhen würde, ob das Fernsehen ein bedeutendes Fußballmatch zeigen wird, was die Leute Zuhause halten würde, ob das Wetter regnerisch wird und daher die Straßen rutschig etc.

Unsere Fähigkeit Prognosen auf der Basis der Statistik zu stellen, verbessert sich ständig in der Masse, wie unsere Möglichkeit sich verbessert, große Informationsmengen rechnerisch zu handhaben und dadurch differenzierte Prognosen zu machen.

Eine Versicherungsgesellschaft zum Beispiel, die Lebensversicherungen abschließt, mag nicht voraussehen wann der konkrete Kunde sterben wird, sie stützt sich aber nicht mehr nur auf eine allgemeine Statistik der Lebensdauer. Sie unterscheidet ob es sich um einen Mann oder eine Frau handelt, sie berücksichtigt die Krankheiten, die er gehabt hat, seinen Beruf, seine Essgewohnheiten, ob er raucht, ob er trainiert etc.

Vor nicht allzu langer Zeit war die Wetterprognose so ungenau, dass niemand sie ernst nahm, und sie eher als Anlass für Witze und lustige Geschichten diente. Heute sind wir in der Lage zu wissen, an welchem Ort es morgen Nachmittag regnen wird und in groben Zügen, wie das Wetter in der kommenden Woche sein wird.

Ein letztes Beispiel aus der Prognose des menschlichen Verhaltens: in den letzten Jahren erleben wir eine imposante Verbesserung der Voraussage der Wahlergebnisse. Das wäre nicht verwunderlich, wenn jeder Wähler vorher gefragt wäre und bindend erklärt hat, was er wählen wird. Aber bei den Befragungen werden Proben der Größenordnung von 1‰ der Gesamtzahl der Wähler genommen, und viele der Befragten kennen selbst nicht, was sie wählen werden. Übrigens ist jeder frei bis zur letzte Sekunde zu entscheiden, was er wählen wird. "Frei" ist er, nur die Demoskopon wissen etwas, was er wahrscheinlich selbst nicht weiß. Sie wissen welchen Gebrauch seiner Freiheit er machen wird. Sie kennen schon am Vortag den Wahlausgang mit einer Abweichung von 1%, und sie brauchen das Resultat aus einigen wenigen Wahllokalen, um das Endergebnis mit einer Abweichung von 0,1% vorauszusagen.

Je mehr unsere Möglichkeit zur Informationsverarbeitung voranschreitet (und sie schreitet rasant voran; wir erleben in diesem Gebiet eine regelrechte Explosion, vielleicht die imposanteste Revolution, die Revolution der Informatik), desto mehr verbessert sich unsere Möglichkeit zur Prognose der verschiedenen Phänomene. Sowohl "von Unten" (durch das Studium immer mehr rein deterministischen Teilschritten) sowie "von Oben" (durch immer detailliertere statistische Verarbeitung des Gesamtprozesses) deckt die Kenntnis immer mehr Raum, wo bis gestern das Unbekannte herrschte. Der "Zufall" befindet sich in ständigem Rückzug, "verliert ständig an Boden", sein Wirkungsbereich wird immer kleiner.

Das Leben

Dem Anschein nach ein Gegensatz

Gemäß dem was wir bisher über den Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik und den Zuwachs der Entropie gesehen haben, könnten wir unsere Gedanken wie folgt zusammenfassen:

Wenn ein System keinen äußeren Einflüssen unterliegt, tendiert es von sich aus von weniger wahrscheinlichen Zuständen in wahrscheinlichere überzugehen. Der Organisationsgrad den es vielleicht hatte, wird immer kleiner, seine Energie wird ständig degradiert.

Diese Gedanken haben uns dazu geführt, den unabdingbaren "**Thermischen Tod des Universums**" zu akzeptieren und "**das Gesetz des Verfalls**" als das oberste Gesetz des Kosmos anzuerkennen. Wollen wir aber sehen was passieren wird, wenn dieses isolierte "seinem Schicksal überlassene" System ein Ei ist.

Wenn das Ei befruchtet ist, und wir es in der richtigen Temperatur²⁸ halten, wissen wir schon was geschehen wird. Tun wir jedoch als ob wir es nicht wüssten, und versuchen wir das anzuwenden, was uns die Thermodynamik lehrt.

Die undurchlässige Schale des Eies schließt eine gewisse Materiemenge ein, wo in einer wässrigen Lösung einige einfache oder komplexere Verbindungen, die uns meistens gut vertraut sind, den bekannten Naturgesetzen unterliegen. Die Moleküle befinden sich in der unaufhörlichen thermischen Bewegung. Bei dieser Bewegung kollidieren sie miteinander. Diese Kollisionen führen manchmal zu Vereinigung und Bildung neuer Verbindungen, ein anderes Mal zu Zerfall der bereits bestehenden. Wie in jeder anderen chemischen Reaktion, werden die Anfangssubstanzen, eingeschlossen im Reaktionsgefäß, durch die zufälligen thermischen Kollisionen zu den Produkten übergeführt.

Im Fall des Eies ist der "Reaktor" hermetisch verschlossen beinhaltet jedoch alle notwendigen Substanzen und zwar in der exakt genauen Menge zur Bildung des Produktes "*Küken*". Hätte die Thermodynamik etwas gegen ein solches Resultat? In den zufälligen Kollisionen der Moleküle, bei der unaufhörlichen Bildung und Spaltung der verschiedenen Verbindungen, ist es ausgeschlossen, dass die Materie (zufällig, wie bei jeder Reaktion) in der Form des Kükens angeordnet wird?

Natürlich ist es nicht ausgeschlossen. Da wir die ganze Menge des Materials, das dazu nötig ist, zur Verfügung haben, ist die Anordnung "*Küken*" genauso möglich, wie eine Vielzahl anderer Anordnungen des gleichen Materials in einer anderen Form. **Möglich** ist es, dass die Materie sich zufällig in der gewünschten Form anordnet. Das aber, was wir fragen sollten ist: wie **wahrscheinlich** ist so etwas. Und dies, weil die Anordnung "*Küken*" nur eine einzige ist und die anderen, die ohne Sinn²⁹, sehr viele sind. Wenn wir die Sache so betrachten, müssen wir zugeben, dass die Bildung eines Kükens aus dem Ei wenig wahrscheinlich ist.

²⁸ Das Bedürfnis der geeigneten Temperatur hat keinen energetischen Grund. Es ist kein Bedarf an Zufuhr von thermischer Energie. Die Anforderung kommt aus der **Chemischen Kinetik**. Die bestimmte Temperatur ist notwendig, damit unter der immensen Menge der möglichen Reaktionen jene bevorzugt werden, die zu den gewünschten Strukturen führen.

²⁹ Ohne Sinn natürlich, was das Ziel Huhn Küken angeht, denn aus dem gleichen Material, das keinen großen Unterschied hat (wir wissen, dass der wesentliche Unterschied in einem einzigen Molekül liegt), können wir uns vorstellen, dass andere Anordnungsformen möglich wären, wie zum Beispiel ein Enten Küken oder ein Adler Küken etc. Nur dass diese Anordnungen ebenfalls sehr wenige sind im Vergleich mit der Anzahl der Anordnungen, die überhaupt keinen Sinn ergeben in Bezug auf das Phänomen des Lebens und daher auch sehr kleine Wahrscheinlichkeit zur Realisierung haben.

Wir verwenden gewöhnlich die Begriffe "wahrscheinlich" und "unwahrscheinlich" mit einer gewissen Sorglosigkeit. Wir betrachten es zum Beispiel als unwahrscheinlich, dass wir schwere Schäden wegen eines Verkehrsunfalls erleiden könnten, und diese Möglichkeit beschäftigt uns nicht sonderlich. Mit Recht allerdings. Bei der heutigen Frequenz der Unfälle ist die Wahrscheinlichkeit, dass uns im Laufe des Jahres so etwas zustößt noch klein. Sie liegt in der Größenordnung von 1/1.000.

Von der anderen Seite betrachten wir es als wahrscheinlich einen Sechser im Lotto zu gewinnen (und wir sind bereit Geld auszugeben, um diese Wahrscheinlichkeit zu kaufen mit dem Argument: "*Jemand wird ja wohl gewinnen, warum soll ich nicht der Glückliche sein?*") obwohl die Wahrscheinlichkeit in diesem Fall in der Größenordnung von 1/1.000.000 ist. Und dabei vergessen wir, dass die Wahrscheinlichkeit für den Verkehrsunfall Tausendmal³⁰ größer ist.

Nun, die Wahrscheinlichkeit, dass ein Küken aus dem Ei schlüpft, wie groß ist sie? Wollten wir sie mit einer Zahl ausdrücken, müssten wir schreiben: 1/(1.000.000....hier eine Zahl mit ein paar tausend Nullen). Was für einen reellen Wert hat aber eine solche Zahl? Die Antwort ist ganz klar: **absolut keinen**. Einen solchen Wert können wir in der Praxis mit ruhigem Gewissen gleich Null setzen. Theoretisch mag sie das Möglich-Sein eines solchen Geschehens darstellen, in der Praxis jedoch sind wir gezwungen, ein Resultat mit einer so kleinen Wahrscheinlichkeit mit der größten Entschiedenheit auszuschließen.

**Es ist auf keinen Fall zu erwarten,
dass aus dem Ei je ein Küken ausschlüpft.**

Das Wunder des Lebens

Und trotzdem. Das enorm unwahrscheinliche Ereignis, genau das findet statt. Nach einigen Tagen hat sich der amorphe Inhalt des Eies organisiert, die Materie hat sich angeordnet in einer Weise, die zu Recht Bewunderung verursacht. Die gleichen Atome, mit dem im Wesentlichen gleichen Energieinhalt, die sich anfänglich in der Form der wässrigen Lösung befanden, haben sich nun in einen Organismus umgewandelt. Mit Wirbelsäule, mit Muskel-, Verdauungs-, Blutkreislauf-, Immun- und Nervensystem. Mit Regler für den Blutdruck und die Säurekonzentration im Magen. Mit Sinnesorganen für die

³⁰ Um die Bedeutung diese Zahlen zu vergegenwärtigen, hilft vielleicht die Überlegung, dass, falls die Ergebnisse gleich verteilt wären, wir erst erwarten müssten 1.000 schwere Verkehrsunfälle zu erleiden, um dann sagen zu können, jetzt hoffen wir auch noch im Lotto zu gewinnen.

Temperatur, den Schall, das Licht und mit der Fähigkeit seine Umgebung wahrzunehmen und zu deuten³¹.

Einen "Mechanismus", der chemische Energie in mechanische umwandeln kann und sowohl die Möglichkeit wie auch den "Willen" zur Bewegung hat. Und außerdem einen "furchterregenden" Schnabel besitzt, mit dem er den "Reaktor" von innen aufbricht und laut schreiend ausbricht auf der Suche nach seiner Mutter und der Nahrung. Der Nahrung, das heißt der chemischen Energie, die ihm die Möglichkeit geben wird, größer zu werden (also eine noch größere Menge von Materie auf diesen hohen Grad der Organisation zu bringen) und nach einiger Zeit an der Weiterführung des Phänomens des Lebens durch die Produktion von befruchteten Eiern teilzunehmen.

Was soll man dazu sagen! Das Wort "**Wunder**" ist das einzige, was hier passen würde. Wenn dieses Wort das Erscheinen eines Resultates mit sehr kleiner Realisierungswahrscheinlichkeit bedeutet, dann ist es jetzt der passende Fall es zu benutzen. Es handelt sich um ein Wunder, das wir aber ständig um uns herum im Phänomen des Lebens treffen, das den Planeten Erde überflutet hat, und wir haben uns daran gewöhnt. Übrigens nehmen wir selbst Teil an diesem Phänomen, da die Materie unseres Körpers in ähnlicher Weise aufgebaut³² ist und daher ein entsprechendes Verhalten zeigt.

Liegt hier aber nicht ein Widerspruch? Wie ist so was möglich? Gilt vielleicht der Zweite Hauptsatz nur für die übrige Welt aber nicht für die lebendigen Systeme?

Die Ansicht, dass für die lebendigen Systeme unterschiedliche Gesetze gelten, hatte jahrhundertlang Anhänger. Die Schwierigkeit, die wir hatten Phänomene, die in lebendigen Systemen auftreten zu verstehen, und die noch größere Schwierigkeit sie im Labor zu reproduzieren, hat Viele zu der Meinung geführt, dass es eine gewisse geheime Kraft geben muss. Diese Kraft, "**Lebenskraft**" (*vis vitalis* auf Latein, daher der Begriff **Vitalismus** für die entsprechende Lehre), ist unterschiedlich von den

³¹ Wer daran zweifelt, soll überlegen ob z.B. ein Küken Angst verspürt, ob es das Vorhandensein einer Bedrohung abschätzen kann und in der Lage ist abzuwägen, ob es sich zu einem Kampf gegen den Gegner stellen soll, oder die Flucht ergreifen und den besten Weg des Entkommens suchen soll.

³² Einige von uns glauben, dass sie sich sogar in einem noch höheren Grad der Organisation befindet, denn wir sind nicht nur in der Lage ein Weizenkorn von einem Steinchen zu unterscheiden, sondern wir können auch noch Bücher über die Thermodynamik lesen und Fragen über den Geltungsbereich des Zweiten Hauptsatzes stellen.

übrigen Naturkräften und unbedingt nötig für das Erscheinen des Phänomens des Lebens. Als unser Wissen voranschritt, erhielt diese Ansicht schwere Schläge und hat heute kaum noch Anhänger.

Die Frage jedoch in ihrer zugespitzten Form (die der "automatischen" Organisation der Materie in einem Embryo) bleibt weiter bestehen: Wie ist es möglich, dass Strukturen erscheinen, die eine so kleine Realisierungswahrscheinlichkeit haben?

Das Geheimnis des Lebens

Etwa in der Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts wurde die DNA entdeckt und ihre Rolle erklärt, während wir gleichzeitig angefangen haben, die Bedeutung der Information zu erkennen und zu studieren. Und da wurde plötzlich das Rätsel gelöst. Was war passiert? Wir hatten, wie so oft, die falsche Frage gestellt. Wir fragten welche die Wahrscheinlichkeit der zufälligen Entstehung der Anordnung "*Küken*" sei, und dies war falsch. Die Anordnung entsteht nicht zufällig. Es war falsch den Zweiten Hauptsatz zur Hilfe zu holen und die Wahrscheinlichkeitsrechnung zu benutzen.

Das Spiel war "*abgekater*", der "*Kartenstapel war gezinkt*" und für ein einziges Resultat vorbereitet. In dem Ei, außer der nötigen Materialmenge, befand sich auch die ganze Informationsmenge, die nötig war, um die eine einzige gewünschte Anordnung aus dem Ozean der nutzlosen Anordnungen herauszusuchen. In der DNA war die volle, detaillierte Anweisung, die für die Bildung des Kükens notwendig war kodiert aufgezeichnet. So wie in manchen Zusammensetzspielen befinden sich in der gleichen Verpackung sowohl eine Tüte mit all den nötigen Teilen, wie die Konstruktionspläne mit der detaillierten Anweisung, in welcher Reihe und wie diese Teile miteinander verbunden werden sollen.

Heute wissen wir es:
Das "Wunder" des Lebens wird von
der gigantischen Konzentration der
Information verursacht. Die *vis vitalis*
ist nichts Anderes als die DNA.

Und die Thermodynamik? Hat sie auf einmal aufgehört Einwände zu haben? Wieso erduldet sie Systeme mit so niedriger Existenzwahrscheinlichkeit wie eine Pflanze oder ein Tier?

Was die Energie angeht, ist das Problem einfach. Solange diese Systeme mit Energie gespeist werden (die Pflanze vom Licht, das Tier von

seiner Nahrung) hat die Thermodynamik keinen Einwand. Es gibt kein Problem, wenn sie sich bei so hohem Grad der Organisation halten, bei so niedriger Entropie, die sie sogar weiter erniedrigen solange sie wachsen. Wenn das Energieangebot aufhört, können die Systeme nicht mehr in diesem hohen Grad der Organisation weiter bestehen, und sie zerfallen in einfachere Strukturen. Das ist der Hungerstod.

Was die Information angeht, müssen wir die Sache etwas detaillierter studieren. Wir wissen, dass die nötige Information für die Funktion des Organismus sich in der DNA jeder Zelle befindet. Die Frage ist: wieso lässt sie dort der Zweite Hauptsatz "in Ruhe"? Versucht nicht "der blinde Zufall" die Organisation der DNA zu zerstören, ihre Entropie zu erhöhen? Natürlich versucht er das, er versucht es unaufhörlich, und nach und nach schafft er es auch.

Selbstverständlich haben die lebenden Systeme Methoden entwickelt, um die Information zu schützen: doppelte Aufzeichnung, getrennt in jedem Ast der DNA-Helix, automatische Fehlerkorrektur, Sicherungskopien etc. Ständig entdecken wir neue "Tricks", welche die lebendige Materie in ihrem Kampf gegen den Zuwachs der Entropie anwendet. Von der anderen Seite aber, gibt es die Tendenz zur Desorganisation nicht auf. Es geht regelrecht um einen Kampf auf Leben und Tod. Oder exakter **um den Kampf** zwischen Leben und Tod.

Die Tatsache, dass seitdem das Leben auf der Erde existiert, der Kampf noch nicht zu Ende ist, zeigt, dass die "Kontrahenten" gleich stark sind. Über die Stärke der Tendenz zur Desorganisation, hätten wir keinen Zweifel. Es ist der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik. Es scheint aber, dass die Stärke der anderen Seite ebenfalls nicht zu unterschätzen ist. Wie wäre es sonst zu erklären, dass sie ständig immer weiter entwickelte, höher organisierte, komplexere Formen hervorbringt, immer größeren Raum auf dem Planeten erobert und auch noch dabei ist, mittels der Tätigkeit einer dieser Formen (des Menschen), sich auch auf anderen Himmelskörper auszubreiten?

Für das Leben im Allgemeinen ist der Kampf unentschieden. Für das Leben eines konkreten Individuums einer Spezies jedoch, neigt sich der Kampf zu der Seite des Zweiten Hauptsatzes. Die DNA jeder Zelle erleidet, trotz der Sicherungsmaßnahmen, den ständigen Verschleiß. Der Teil der DNA einer einzigen Zelle, der es fertig bringt, bei der Befruchtung sich mit dem entsprechenden Teil der DNA eines anderen Individuums zu verbinden, hat die Gelegenheit seine Fehler zu korrigieren, denn es ist sehr unwahrscheinlich, dass zwei DNA Stränge aus verschiedenen Individuen an der gleiche Stelle Fehler aufweisen³³. Dieser Teil wird verjüngt die Information, das Leben, in ein neues Individuum übertragen und fährt fort weiter zu leben.

³³ Das ist der Grund, zusammen mit der schnelleren Verbesserung der Eigenschaften durch die Partnerwahl, warum bei den meisten Spezies zwei unterschiedliche Geschlechter als Träger der DNA verwendet werden, mit all dem Guten und Schlechten, die dieses System hat.

In den übrigen (das heißt in allen bis auf die Fortgepflanzte) Zellen des Organismus geht der Verschleiß unaufhörlich weiter. Die Fehler bei der Replikation der DNA für die notwendige Produktion neuer Zellen werden größer. Die Funktion der Zellen wird immer mangelhafter. Es werden Zellen erscheinen (und sich, wie alle anderen nachher vermehren), deren Eigenschaften so unterschiedlich von den übrigen sind, dass sie in das benachbarte Gewebe nicht eingegliedert werden können (was wir gewöhnlich den **Krebs** nennen), die Funktion des ganzen Organismus wird immer fehlerhafter und zum Schluss wird sie ganz aufhören. Das ist der Alterstod.

Wenn wir hinzufügen, dass das Ende eines Organismus auch aus zufälligen Gründen kommen kann (ein Feuer verbrennt eine Pflanze, ein Virus besiegt ein Tier), so sagen wir bloß etwas Selbstverständliches. Zufallsereignisse können nur den Sieg des Zweiten Hauptsatzes, die Erhöhung der Entropie zur Folge haben.

Von dem Moment an als die Information in solch hohem Grade wie in der lebenden Materie konzentriert wurde, können zufällige Einflüsse sie nur erniedrigen. Sie können nur Desorganisation herbeiführen.

Ist sie aber nicht etwas übertrieben die Art dieser Darlegung? Sollten wir nicht, um folgerichtig zu sein, eine Möglichkeit offen lassen, zur weiteren Organisation eines Systems unter der Einwirkung von zufälligen Einflüssen? Selbstverständlich. Nur dass, wenn wir uns nicht überlegen wie groß oder klein die Wahrscheinlichkeit für so etwas ist, riskieren wir uns in dem sorglosen Optimismus des Lottospielers einzulullen.

Es gibt ein Beispiel für die Möglichkeit der zufälligen Entstehung von Ordnung. Die Epen von Homer bestehen aus einigen tausend Buchstaben des Alphabets, angeordnet in einer bestimmten Reihe. Wenn wir, sagt das Beispiel, einige Affen hätten und ließen jeden auf einer Schreibmaschine zufällig auf die Tasten hauen, wäre es ausgeschlossen, dass bei einer der Schreibmaschinen auf den aufeinanderfolgenden Schreibblättern die gleiche Reihe wie bei Homer erscheinen würde? Natürlich nicht. Es ist gar nicht ausgeschlossen³⁴.

³⁴ Und zwar, es ist nicht nur nicht ausgeschlossen, sondern es ist sicher, dass diese Reihe früher oder später erscheinen wird. Vorausgesetzt wir haben genug Affen und genug Schreibmaschinen und vor allem genug Zeit zur Verfügung, denn nur wenige von uns würden hoffen, dass wir das Resultat in ein paar Stunden oder meinetwegen Tagen erhalten würden. Wie wir dann allerdings diese Seiten aus dem Ozean des Unsinn, der zugleich produziert wird, herausholen können, das ist eine andere Geschichte.

Die Frage aber ist nicht ob so etwas möglich wäre. Die Frage ist, wie wahrscheinlich es ist. Wir können uns nicht in Optimismus wiegen mit dem naiven Gedanken: "*da es ja möglich ist, warum soll es nicht vorkommen?*". Die Antwort ist: **es wird nicht vorkommen**. Es kann nicht vorkommen, weil die Wahrscheinlichkeit klein und das Universum begrenzt³⁵ ist. Es hat weder unbegrenzte Materie, um genügend Affen und Schreibmaschinen zu produzieren, noch unbegrenzte Zeit zur Verfügung, um sie "experimentieren" zu lassen. Wenn ein Ereignis eine so kleine Realisierungswahrscheinlichkeit hat, dann können wir nicht mit seinem Auftreten rechnen. Es ist egal, ob wir es theoretisch nicht ausschließen können, praktisch schließen wir es aus. Wir wissen, dass es nicht stattfinden wird.

Wenn wir sagen, dass eine bereits organisierte Struktur durch zufällige Einflüsse zum höheren Grad der Organisation übergehen könnte, ist es, als ob wir darauf hoffen, dass ein herrliches Gebäude unter dem Einfluss der Erdbeben noch herrlicher werden kann. Theoretisch wäre dies nicht unmöglich, gibt es aber jemanden, der ernsthaft mit dieser Eventualität rechnet? Dann aber, wenn eine so strenge Behauptung gegen die zufällige Entstehung von Ordnung gerechtfertigt ist, wie ist es zu erklären, dass das Leben auf Erden erschienen ist und sich zu solch hohem Grade der Organisation weiterentwickelt hat?

Die Frage ist so grundsätzlich, dass es sich lohnt, uns mit ihr detaillierter zu befassen.

Die Entstehung des Lebens

Was die Weiterentwicklung angeht, so ist die heute allgemein akzeptierte Theorie die Theorie der Entstehung der Arten von Charles Darwin. Dieser Theorie nach ist die natürliche Selektion das Hauptinstrument der Natur für die Entwicklung von höher organisierten Systemen.

Die neuen Individuen, die in jeder Art entstehen, sind keine identischen Kopien deren Eltern. Sie haben oft einige kleine Unterschiede. Diese Unterschiede sind meistens nicht entscheidend für die Fähigkeit des Individuums zum Überleben. Manchmal sind Veränderungen zum weniger Vorteilhaften, und ab und zu erscheinen Veränderun-

³⁵ Wenn wir folgerichtig sein wollen, müssen wir eine Berechnung (die übrigens gar nicht so schwierig ist) aufstellen, um eine Vorstellung über die Größe dieser Wahrscheinlichkeit zu erhalten. Für einen anderen Fall mit einer unvergleichlich größeren Wahrscheinlichkeit findet in einem späteren Kapitel eine solche Berechnung statt.

gen, welche einen gewissen Vorteil im Kampf ums Überleben darstellen. Die Individuen mit diesen Eigenschaften sind in besserer Lage als die übrigen. Sie überleben und hinterlassen mehr Nachkommen, während die Individuen mit den schlechteren Eigenschaften eingehen, und mit ihnen verschwinden ebenfalls die schlechteren Eigenschaften. Mit wiederholter solcher Selektion, verändert sich nach und nach die Art, passt sich besser an die Bedürfnisse ihrer Umwelt an, evolviert.

Es gibt viele Indizien, die für diese Theorie sprechen, daher hat sie sich ja durchgesetzt. Das was aber diese Theorie uns nicht erklärt, ist, wie die ersten Formen des Lebens entstanden sind. Die Weiterentwicklung, die Evolution setzt voraus, dass es Systeme gibt, die in der Lage sind, sich zu reproduzieren, sich zu vermehren, Nachkommen zu zeugen. Dies aber können nur Systeme erreichen, die sich bereits in einem hohen Grad der Organisation befinden. Einfache Materieformen können sich nicht reproduzieren. Aber die komplexeren Strukturen, die nötig sind, damit der Mechanismus der Verbesserung durch die Selektion der Nachkommen in Gang gesetzt wird, wie sind sie entstanden? Zufällig ist die Antwort, die wir gewöhnlich geben.

Man kann tatsächlich behaupten und experimentell im Labor belegen, dass sehr einfache Substanzen (wie z.B. H_2O , CH_4 , NH_3), die in der primitiven Erdatmosphäre vorhanden waren, durch Energiezufuhr mittels UV-Strahlung oder elektrischen Entladungen, alle Aminosäuren bilden können, welche die Grundbausteine für die Bildung jedes Organismus nötig sind. Danach aber, wie sind diese Bausteine in der richtigen Reihenfolge aneinander angeordnet, um eine reproduktionsfähige Anordnung zu bilden? Doch offensichtlich zufällig, ist die Antwort. Eine andere Möglichkeit gibt es nicht.

Die Wahrscheinlichkeit jedoch der zufälligen Entstehung einer solchen Anordnung sollten wir versuchen zu berechnen, um ein Gefühl zu haben, ob so etwas möglich war. Mit dem was uns die thermodynamische Wahrscheinlichkeit lehrt, können wir eine solche Berechnung durchführen. Übrigens ist die eventuelle Diskrepanz zwischen dem Zweiten Hauptsatz und dem Erscheinen des Lebens, ein Problem der Thermodynamik, und wir sind verpflichtet es zu beantworten.

Wir wissen nicht, wie komplex eine solche Struktur sein muss. Sie war wohl einfacher als ein heutiges Bakterium, das im Vergleich zu den Atomen, die es ausmachen eine kolossale Menge organisierter Materie darstellt. Sie bräuchte nicht einmal so groß wie ein Virus sein, mit den Tausenden Atomen aus denen er besteht. Wie einfach können wir sie uns aber vorstellen? Ein einfaches Eiweißmolekül, das selbstverständlich allein nicht "leben" kann, braucht einige Hunderte Aminosäure Moleküle, um gebildet zu werden.

Die Wahrscheinlichkeit lässt sich berechnen

Nur um eine kleine Idee der Größe des Problems zu bekommen, wollen wir uns etwas unvergleichlich Einfacheres vorstellen. Angenommen wir haben 30 kleine Bauteilchen, 30 Mosaiksteinchen, und wir fragen uns, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, dass sie sich in einer Reihe anordnen. Um die Wahrscheinlichkeit der Bildung der "Kette" um ein Vielfaches zu erhöhen, wollen wir annehmen, dass es uninteressant ist in welcher Reihenfolge die einzelnen Teile aneinander liegen. Und um die Wahrscheinlichkeit noch weiter zu erhöhen, verkleinern wir den zur Verfügung stehenden Raum. Gehen wir von den drei Dimensionen des Raumes auf die zwei Dimensionen einer Oberfläche, und zwar nehmen wir an, dass unsere "Steinchen" nur auf bestimmten Plätzen der Oberfläche³⁶ sitzen können.

Um einen direkten Einblick zu haben, stellen wir uns vor, wir haben eine quadratische Platte 25×25 cm und unsere Steine sind Würfel mit 5 mm Kante. Wenn wir uns dazu vorstellen, dass eine Art Gitter die Steinchen daran hindert Zwischenplätze zu belegen, dann hätten wir einen Raum mit (50×50) 2.500 Plätzen. Wenn wir nur einen Würfel, ein Mosaiksteinchen hätten, dann gäbe es 2.500 verschiedene Möglichkeiten, das Steinchen auf die Platte zu legen. Wären die Steinchen zwei, so wächst die Anzahl der möglichen Anordnungen sehr stark: sie wird: 3.123.750.

Wenn uns keine konkrete Anordnung interessiert, sondern wir wollen bloß, dass das eine Mosaiksteinchen an dem anderen anliegt, müssen wir schauen wie viele Anordnungen diesem Anspruch: "*die zwei Steinchen nebeneinander*" genügen. Leicht kann man finden, dass sie 49×50 + 49×50 = 4.900 sind. Somit ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine von diesen Anordnungen realisiert wird:

$$\frac{\text{Gewünschte Anordnungen}}{\text{Anordnungen total}} = \frac{4.900}{3.123.750} = \frac{1}{637,5}$$

Diese Wahrscheinlichkeit ist ziemlich klein. Etwa hundertmal kleiner, als mit einem Würfel einen Sechser zu bringen. Im Fall des Würfels können wir sagen, dass wenn wir sechsmal würfeln, das eine Mal ein Sechser erscheinen wird³⁷. Im Fall unserer Platte müssen wir über sechshundert

³⁶ Falls für die Entstehung des Lebens die heterogene Katalyse eine Rolle gespielt haben soll, was als sehr wahrscheinlich erscheint, dann liegt dieses Bild mit den vorbestimmten Stellen auf einer Oberfläche, nicht sehr weit von der Realität.

³⁷ Ohne natürlich, dass es wahr wäre, denn wir wissen, dass, nur wenn wir sehr viele Male würfeln würden, sicher sind, dass das eine Sechstel aller Resultate Sechser wären.

Anordnungen ausprobieren, um sagen zu können, wir hoffen eine davon ist die gewünschte: "die zwei Steinchen nebeneinander".

Die Wahrscheinlichkeit ist so klein, dass, wenn wir ein Experiment machen wollten, wir die Geltung des Zweiten Hauptsatzes feststellen würden. Wenn wir tatsächlich eine Platte mit diesen Dimensionen nehmen würden, und darauf die zwei Würfel nebeneinander stellen, hätten wir ein System niedriger Entropie. Wenn wir nun die Platte schütteln würden, sodass die Würfel sich bewegen können, wissen wir fast mit Sicherheit, dass die Würfel auseinander gehen würden. Wenn wir jetzt weiter schütteln, würden die Würfel auf der Oberfläche der Platte zu "reisen" beginnen. Sie würden manchmal näher kommen, manchmal weiter auseinander gehen, und warum nicht, irgendwann wieder nebeneinander liegen. Wann dies geschehen wird, können wir nicht wissen, wenn aber jede Erschütterung der Platte, sagen wir eine Sekunde dauert, könnten wir nach etwa zehn Minuten Schütteln, eine berechtigte Hoffnung haben, dass die gewünschte Anordnung erscheinen könnte.

Schauen wir nun, was geschehen wird, wenn wir anstatt zwei nunmehr 30 Steinchen haben, so wie wir es anfänglich vorhatten. Legen wir sie anfänglich in eine gerade Linie das eine neben dem anderen und beginnen wir die Platte zu schütteln. Es gibt keinen Zweifel, dass die Ordnung sich zerstören wird. Die gerade Linie wird bald Schlangenlinie werden, einige Würfel werden aus der Reihe treten, bald werden sich alle auf die Oberfläche der Platte verteilen, und es wäre unmöglich, zu erkennen, dass in diesem System früher Ordnung herrschte. Die Information, die durch die Anordnung aller Steinchen in einer geraden Linie repräsentiert war, ist für immer verloren. Uns bleibt nichts anderes übrig, als die Platte weiter zu schütteln, in der Hoffnung, dass die Ordnung zufällig wiederhergestellt werden könnte. Möglich wäre es ja. Bevor wir uns aber an die Arbeit setzen (hier scheint, dass die zehn Minuten nicht ausreichen würden), wäre es vielleicht ratsam zuvor zu berechnen, wie wahrscheinlich ist das, worauf wir hoffen.

Die Menge der möglichen Anordnungen ist diesmal sehr groß geworden. Sie ist: $2,75 \cdot 10^{69}$.

Von diesen Anordnungen sind gewünscht $21 \times 50 + 21 \times 50 = 2.100$, also die Wahrscheinlichkeit ist:

$$\frac{\text{Gewünschte Anordnungen}}{\text{Anordnungen total}} = \frac{2.100}{2,75 \times 10^{69}} = \frac{1}{1,3 \times 10^{66}}$$

Es handelt sich um eine sehr kleine Zahl, die Wahrscheinlichkeit ist sehr klein. Sie ist aber nicht Null. Bevor wir aber beginnen auf die zufällige Entstehung der Ordnung zu hoffen, lasst uns versuchen zu vergegenwärtigen, wie groß die Zahl $1,3 \times 10^{66}$ ist. Wenn wir jede Sekunde eine Anordnung ausprobieren, wie lange würden wir brauchen, um sie alle auszuprobieren?

Zeit	Versuche
In 1 Stunde	3.600
In 1 Tag	86.400
In 1 Jahr	31.536.000 (so viele Sekunden hat das Jahr)
In 100 Jahren	$3,15 \cdot 10^9$

Es ist offensichtlich, dass die Zeit, die ein "Experimentator" zur Verfügung hat, auch wenn er ununterbrochen Tag und Nacht arbeiten würde, nicht ausreicht. Wenn wir aber den einen Experimentator mit dem nächsten austauschen würden, mit welcher Zeitspanne könnten wir rechnen? Die Erde besteht seit 4,5 Milliarden Jahren, wenn wir rechtzeitig begonnen hätten, wie viele Versuche hätten wir bis heute gemacht?

Zeit	Versuche
In $4,5 \cdot 10^9$ Jahren	$1,42 \cdot 10^{17}$ (so viele Sekunden besteht bereits die Erde)

Mit einem "Experimentator" ist es nicht zu schaffen. Dann sollten wir berechnen, wie es wäre, wenn wir von Anfang an 5 Milliarden "Experimentatoren" zur Verfügung hätten, und jedem ein Tablett mit den Steinchen in die Hand gedrückt hätten um es unaufhörlich zu schütteln.

Zeit	Versuche
$5 \cdot 10^9$ "Experimentatoren" in $4,5 \cdot 10^9$ Jahren	$7,1 \cdot 10^{26}$

Es ist immer noch nichts zu machen.

Hier aber ist ein Einwand möglich. Offensichtlich brauchen wir die "Experimentatoren" nicht, um unsere Versuche zu machen. Wir haben sie benutzt, nur um einen Eindruck über die Größe der Zahlen zu gewinnen. Die Atome der Materie selbst haben dieses "Glückspiel" für die Entstehung des Lebens gespielt. Wenn wir annehmen, dass die Erde aus 10^{50} Atomen besteht (was in etwa wahr ist), und sie, in 30er Gruppen geteilt, dieses Spiel auf der entsprechenden Anzahl Platten gespielt hätten, wie viele Versuche hätten wir bis jetzt?

$$\frac{10^{50}}{30} \times 1,42 \times 10^{17} = 4,73 \times 10^{65}$$

Also doch. So könnte es schon möglich sein.

Wir wissen aber, dass von den Atomen, die die Erde ausmachen, nur ein winzig kleiner Anteil für diese Art der Organisation geeignet ist. Und dass wir (um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen) den zur

Verfügung stehenden Raum unerlaubt stark begrenzt haben. Bereits die 30 Mosaiksteinchen auf einer Platte mit 10.000 Plätzen³⁸ ergeben für die möglichen Anordnungen: $2,6 \cdot 10^{86}$.

Und es reicht, wenn wir die Anzahl der Mosaiksteinchen etwas erhöhen, um jegliche Hoffnung endgültig zu verlieren. 60 Mosaiksteinchen (die sicherlich nicht ausreichen, um ein lebendiges, wachsendes und sich reproduzierendes System zu gestalten) ergeben auf der Platte mit den 10.000 Plätzen für die möglichen Anordnungen: 10^{158} .

Das Leben kann nicht
zufällig entstanden sein.
Die Thermodynamik, der Zweite
Hauptsatz erlaubt es nicht.

Was ist aber sonst geschehen?

Das "Experiment" des Lebens

Am Anfang dieses Buches haben wir einen grundlegenden Begriff, den Begriff des Idealgases kennengelernt. Auf diesen Begriff haben wir uns größtenteils gestützt, um das ganze Gebäude der Thermodynamik aufzubauen. Seine Nützlichkeit war so groß, und seine Bedeutung so zentral, dass wir nach und nach vergessen haben, dass dieser Begriff sich auf eine Annahme stützte, und zwar auf eine Annahme, für die wir von Anfang an wussten, dass sie in der Praxis gar nicht zutrifft. Die Annahme nämlich, dass es keine Wechselwirkung zwischen den Molekülen des Idealgases gibt. Es gibt keine Kraft, die sie in ihrer Bewegung beeinflusst. Alle Resultate, alle Ergebnisse, alle Anordnungen für die Verteilung der Moleküle im Raume sind als gleich wahrscheinlich erachtet.

Genauso wie bei jeder Wahrscheinlichkeitsrechnung. Wenn wir sagen, dass ein Würfel die Wahrscheinlichkeit $1/6$ hat einen Sechser zu bringen, gehen wir von der Annahme aus, dass der Würfel symmetrisch ist und keine besondere "Veranlagung" hat Sechser zu bringen. Es gibt aber einige Würfel³⁹, die nicht alle Zahlen gleich oft bringen. Meistens bringen sie die gleiche Zahl, gewöhnlich einen Sechser. Um das Verhalten sol-

³⁸ Diese Platte hätte die gleichen Dimensionen wie die Vorherige, aber das "Gitter" würde die Besetzung von Zwischenplätzen oder Plätzen unter 45° erlauben.

³⁹ "**Gezinkte Würfel**", ist der terminus technicus, der sie bezeichnet.

cher Würfel vorauszusagen, wäre es falsch die Wahrscheinlichkeitstheorie in ihrer einfachen Form zu benutzen, die sich auf die Annahme stützt, dass alle Ausgänge gleichberechtigt sind. Dies aber exakt haben wir getan, als wir die Beziehung der Entropie zur Wahrscheinlichkeit betrachteten, und darauf haben wir alle unsere Überlegungen über die Tendenz zur Desorganisation und das Wachstum der Entropie gestützt.

Wenn die Mosaiksteinchen des "Experiments" in Wirklichkeit "indifferent" zu einander sind, dann gilt tatsächlich alles, was wir berechnet haben. Die Möglichkeit der zufälligen Entstehung von Ordnung in so hohem Grade, wie für das Leben nötig ist, ist praktisch nicht vorhanden. Was würde jedoch geschehen, wenn unsere Mosaiksteinchen statt aus Stein, Holz oder Plastik kleine Magneten wären?

Es ist nicht schwierig dies uns vorzustellen⁴⁰. Wenn wir einige kleine Magneten zufällig auf der Oberfläche der Platte haben, und durch Schütteln der Platte ihnen die Möglichkeit geben ihre Stelle zu wechseln, werden sie nicht auseinander streben, sie werden sich zueinander bewegen. Sie werden "rennen" sich an die anderen anzuschließen, zunächst je zwei oder drei, dann in immer größeren Gruppierungen, die Teile der Kette werden zueinander finden, zum Schluss werden sie alle eine einheitliche Linie bilden.

Das, was wir wegen kleiner Wahrscheinlichkeit als verboten erachteten, genau das wird stattfinden. Und wie oft wir es wiederholen, das Gleiche wird passieren. Das Gesetz, was über unser System waltet, ist nicht die Tendenz zur Desorganisation, sondern genau das Gegenteil. Unser System, wegen der Kräfte, die in seinen Bauteilchen innewohnen, tendiert automatisch zur Organisation.

Was ist denn hier passiert? Ist der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik außer Kraft gesetzt? Direkt vor unseren Augen wurde Ordnung aus dem Chaos erschaffen. Es ist als ob der Fluss der Zeit seine Richtung umgekehrt hätte, so wie wir es für die sich selbst aufbauende Pyramide dachten. Die verstreuten Bausteine fanden von selbst zu einander um einen Turm zu bilden. Ein alter Traum wurde zur Wirklichkeit. Was der Maxwellscher Dämon und der Boltzmannsche Ziegelstein nicht machen konnten, das haben "**die Magneten des Lebens**" erreicht. Sie haben uns einen ganz anderen Aspekt des Kosmos gezeigt. Einen Aspekt, den wir, vertieft in unseren Wahrscheinlichkeitsrechnungen, total übersehen haben. Wir haben nicht berücksichtigt, dass es in der Natur Phänomene gibt, bei denen die Bestandteile anstatt auseinander zu streben, zu einander hinfinden und komplexere Strukturen formen.

⁴⁰ Wer sogar einige kleine Magnete zur Verfügung hat, könnte ein "Experiment" machen. Er könnte die Magneten auf ein Blatt Papier weit auseinander stellen, das Papier bewegen und ihr Verhalten beobachten.

Als wir die Eigenschaften der Idealgase auf den ganzen Kosmos projizierten, haben wir eine Verallgemeinerung gemacht, ohne uns selbst zu fragen, ob wir das Recht dazu hatten. Jetzt sind wir verpflichtet eine sehr schwerwiegende Frage zu beantworten: **Welches der zwei Experimente widerspiegelt korrekter den Kosmos?** Das "Experiment" mit den "neutralen" oder das mit den magnetisierten Steinchen?

Das Erste sagt die sichere Zerstörung der eventuell vorhandenen Ordnung voraus, verbietet praktisch die Entstehung von komplexen Strukturen und lässt als einzige Erklärung für das Erscheinen des Lebens, die (grundlose, wie wir gezeigt haben) Hoffnung auf die Intervention der "Göttin Tyche". Das Zweite stellt die Tendenz der Materie zur Bildung von komplexeren Strukturen in den Vordergrund und schreibt die Schaffung von Ordnung vor. Wenn wir die Natur um uns herum betrachten, was stellen wir fest?

Die Antwort ist einfach: selbstverständlich beides. Das Gesetz des Verfalls, der Desorganisation, das vom Zweiten Hauptsatz beschrieben wird, das existiert ohne Zweifel, regiert aber nicht allein über den Kosmos. Neben ihm wirken die Kräfte, die die Materie zu immer komplexeren Formationen führen. Neben der unordentlichen thermischen Bewegung wirken die chemischen Kräfte, die mittels der Chemischen Kinetik und der Katalyse⁴¹ zur Bildung des Lebens führten. Neben dem blinden Zufall, der zum Untergang führt, arbeitet unaufhörlich die Tendenz zur ständigen Schöpfung.

Die tatsächlichen Bausteine des Kosmos, die Atome, benehmen sich nicht wie die Moleküle der Idealgase. Außer der thermischen Bewegung, die überall präsent ist und sie auseinander treibt, haben sie auch die Tendenz sich miteinander zu vereinen, komplexere Strukturen zu bilden. Je nachdem wie stark diese Kräfte sind, stellen wir fest, ob die eine oder die andere Seite obsiegt. Die Tendenz zum Untergang oder die Tendenz zur Schöpfung, zum Tod oder zum Leben.

In dem Fall der Idealgase haben wir die Existenz der Organisationskräfte absolut geleugnet. Das System mit den neutralen Mosaiksteinchen war verurteilt zur Desorganisation. Wie unsere Berechnungen zeigten, hatte es keine Chance der Destruktion zu entgehen. Im Fall der Magneten, waren die Organisationskräfte so stark, dass sie bereits aus größerem Abstand wirkten und die eine Masse zu der anderen führten. Das System war zur Selbstorganisation "verurteilt". Es hatte keine andere Möglichkeit außer Ordnung aus der Unordnung zu schaffen.

⁴¹ Eine detaillierte Behandlung dieser Themen, würde den Rahmen dieses Buches sprengen.

Bedeutet dann vielleicht dies alles, dass der Zweite Hauptsatz falsch ist? Haben wir ihn ohne Grund überbetont? Der Fehler liegt nicht beim Zweiten Hauptsatz, der liegt bei uns. Wir hatten vergessen, dass der absolute Mangel an Wechselwirkung zwischen den Bausteinen des Kosmos (der in der Basis aller unseren Überlegungen steckte) eine Idealisierung ist, die nicht in allen Fällen der Wahrheit entspricht. Wir haben das Gesetz des Verschleißes als das einzige Gesetz der Natur erachtet und haben die Entstehung des Lebens auf das naive Argument der zufälligen Organisation basiert.

Nun hat sich das Bild geklärt. Diese Organisation konnte nicht zufällig entstehen, und sie brauchte nicht zufällig zu entstehen. Das brauchte sie nicht, weil sie gesetzmäßig entstanden ist. Die Materie ist gezwungen sich zu organisieren wegen der Kräfte, die in ihr stecken. Das Gesetz für die Organisation ist genauso stark wie der Zweite Hauptsatz.

Einstein frei übersetzend könnten wir sagen:

Der Liebe Gott würfelt schon.
Das ist die thermische Bewegung.
Aber seine Würfel sind gezinkt,
und ziehen einige Resultate
mehr vor als andere.
Die Resultate, die zur Organisation
immer komplexerer Systeme führen.

Mit besten Dank an Friderike Kröger für die Korrektur des deutschen Textes.

[P. Bekiaroglou](#)