

Gerd Freiwald

Weltall Erde Mensch und Dialektik

© 2021 Gerd Freiwald

Verlag und Druck:
tredition GmbH, Halenreihe 40-44, 22359 Hamburg

ISBN

Paperback: 978-3-347-23836-7
Hardcover: 978-3-347-23837-4
e-Book: 978-3-347-23838-1

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlages und des Autors unzulässig. Dies gilt insbesondere für die elektronische oder sonstige Vervielfältigung, Übersetzung, Verbreitung und öffentliche Zugänglichmachung.

Vorwort

Es ist nicht so einfach zu sagen, wann ich begann, selbstbestimmt, das heißt kritisch reflektierend, zu denken. Wahrscheinlich war es während des Studiums, als ich mich mit unterschiedlichen Theorien zu Geld und Markt auseinandersetzen musste. Außerdem hatte sich in unserer Studiengruppe ein Kreis gebildet, der sich intensiv mit dem „Anti-Dühring“ von Friedrich Engels beschäftigte. Sein dialektisches Denken hat mich nachhaltig geprägt. Einige Jahre später hatte ich mich in Vorbereitung der Dissertation mit den ökonomischen Werken von Marx auseinanderzusetzen. Diese Schriften sind wohl für jeden eine intellektuelle Herausforderung, aber auch eine gute Schule für konzentriertes Nachdenken.

Dann wendete sich das Blatt und alle vermeintlichen Gewissheiten gerieten ins Wanken. Die Frage „Marx – was bleibt“ trieb mich um. Augenscheinlich war, dass die Visionen von Marx und Engels zu gesellschaftlichen Perspektiven den Praxistest nicht bestanden hatten. Wie sah es mit der ökonomischen Lehre von Marx aus? Seine Analyse des vorindustriellen Kapitalismus war brillant, den angestrebten Nachweis von dessen gesetzmäßigen Untergang konnte sie jedoch nicht erbringen. Dann war da noch die Dialektik, die Marx und Engels in Auseinandersetzung mit Hegel weiterentwickelt hatten. Für mich war sie der Kern dessen, was bleiben würde. Das war vor zwanzig Jahren. Heute ist „Dialektik“ nicht nur ein Fremdwort, für die meisten ist es auch ein „fremdes Wort“, ein Wort, mit dem sie nichts verbinden. Diese große Schule des Denkens, deren Wurzeln bis in die Antike reichen, scheint fast in Vergessenheit geraten zu sein.

Anliegen dieses Buchs ist es, den Nachweis zu erbringen, dass mit Hilfe der Dialektik auch heute grundlegende Fragen der Natur- und Geisteswissenschaften in neuer, weiterführender Weise

beantwortet werden können. Damit die vorgestellten Gedankengänge nachvollziehbar sind, schien es mir erforderlich, eine Einführung in die Methodik des dialektischen Denkens zu geben. Doch, wie würden sich diese beiden Anliegen miteinander verbinden lassen? Nach einer Reihe von mehr oder weniger befriedigenden Versuchen habe ich mich entschieden, das Buch in zwei Teile zu gliedern. Im ersten Teil werden Zusammenhänge in der anorganischen Natur-wie auch Fragen der Evolution des Lebens, bis hin zur Entwicklung der menschlichen Gesellschaften, behandelt. Der Schwerpunkt des zweiten Teils ist der Dialektik als Methode des Denkens gewidmet. Er gliedert sich wiederum in zwei Abschnitte, wobei im ersteren die Theorie des dialektischen Denkens behandelt wird, während im zweiten dessen Anwendung auf einige interessante Fragen im Vordergrund steht.

Im ersten Teil gebe ich an mehreren Stellen Verweise auf Abhandlungen im zweiten Teil, da dort einige der aufgeworfenen Probleme vertiefend betrachtet werden. Umgekehrt wären die Überlegungen im letzten Abschnitt ohne die Ergebnisse des ersten Teils nicht möglich gewesen.

Für die vorliegende Ausgabe habe ich einige Details des ursprünglichen Textes überarbeitet.

Berlin, im Juli 2024

Inhalt	Seite
I. Weltall Erde Mensch	
1. Sinnliches	
Licht soll es werden	9
Musik ist meine Welt	17
Die Geschmäcker sind verschieden	22
Ich kann dich nicht riechen	27
Es ist warm oder mir ist warm?	29
Was ist da draußen?	32
2. Nachsinnliches	
Sprache, Schrift, Wissen und Glaube	35
Messen und Vergleichen	40
Das Messen von Bewegungen	48
Über das Messen von Massen	54
3. Strukturen, Bewegungen und Kräfte	
Die Ordnung der Welt	57
Der Energiegehalt der Strukturen	66
Raum und Zeit	75
Das Gleichgewicht der Kräfte	91
Yin und Yang	108
4. Leben	118
Klein, aber oho!	120
Groß, größer, am größten	129
Bewegung ist alles	140
Entscheidungen und Gefühle	152

5. Menschen

Es werde Mensch	164
Jäger und Sammler	174
Bauerngesellschaften	182
Aufbruch in eine neue Zeit	193
Maschinen verändern das Leben	205

II. Dialektik

1. Zum Wesen des Widerspruchs 217

Die Dialektik von hell und dunkel	218
Objektive Realität und subjektive Wahrnehmung	221
Dialektik von Struktur und Bewegung	230
Zur Dialektik von Raum und Zeit	238
Entfaltung des Widerspruchs	244
Gesetzmäßigkeiten in der Dialektik	253
Dialektik als Methode des Denkens	264

2. Noch einiges Dialektisches

Dialektik und Mathematik	268
Gleich und verschieden	279
Zum Verhältnis von Revolution und Evolution	284
Was ist primär – Huhn oder Ei?	292
Einheit und Kampf der Gegensätze, oder von Weibern und Männern	300
Jedem Anfang folgt ein Ende	310
Der Grundwiderspruch menschlicher Gesellschaften	318
Ausblick	330

Quellen 337

I. Weltall Erde Mensch

1. Sinnliches

Alles, was wir über diese Welt wissen, verdanken wir unseren Sinnen. Wir haben es irgendwann wahrgenommen und dann versucht, diese Wahrnehmungen zueinander in Bezug zu bringen. "Wahrnehmung" ist irgendwie ein schönes Wort. Wir *nehmen* es als *wahr*, was uns unsere Sinne an Informationen über die Welt liefern. Doch, wie wahr sind diese Wahrnehmungen eigentlich?

Licht soll es werden

Licht gehört zu den ersten Eindrücken, die ein werdender Mensch von seiner zukünftigen Umwelt aufnimmt. Bereits ab der 18. Woche der Schwangerschaft sind die Augen des Fötus lichtempfindlich. Das kann man getrost als Zeichen dafür verstehen, dass Licht eine herausragende Rolle für ihn und für sein Leben spielen wird. Es ist aber auch Indiz dafür, dass lichtempfindliche Sinneszellen bereits zu einem frühen Zeitpunkt der Evolution entstanden. Die meisten Pflanzen und Tiere reagieren auf Licht. Doch, was ist Licht eigentlich? Licht, das ist Energie in Form von Lichtquanten, Photonen genannt. Die wichtigste Licht- und damit Energiequelle für uns Erdlinge ist die Sonne, die uns mit Photonen geradezu überschüttet. Sie nähern sich uns mit einer Geschwindigkeit von rund 300.000 Kilometern in der Sekunde. Außer durch diese Reisegeschwindigkeit ist das Licht durch seine Frequenz charakterisiert. Die Frequenz des für uns sichtbaren Lichts bewegt sich im Bereich von 400 bis 750 Billionen Bewegungszyklen pro Sekunde. Ich gebe zu, dieser Takt sprengt jegliche Vorstellungskraft, was uns jedoch nicht daran hindern soll, der Frage nachzugehen, wieso gerade Photonen mit diesen Frequenzen eine wichtige Informationsquelle für uns sind.

Wollten wir nur den Stand der Sonne feststellen, um ihr, der Sonnenblume gleich, unser Gesicht entgegenzustrecken, reichten einfache Sensorzellen aus, dazu wären keine komplexen Sinnesorgane, wie es unsere Augen sind, erforderlich. Der Informationswert des Lichts kann also nicht primär in der Lokalisierung der Sonne liegen.

Der Informationswert des Lichts resultiert daraus, dass die Dinge unterschiedlich auf die von der Sonne ausgesandten Photonen reagieren. Die einen fühlen sich von ihnen belästigt und geben die zusätzliche Energie schnell wieder ab, andere nehmen sie bereitwillig auf. Die meisten Dinge sind jedoch unentschieden, sie reflektieren einen Teil der Photonen und absorbieren einen anderen. Kann man die unterschiedliche Reaktion der Dinge auf die Photonen erfassen, dann ist es möglich, sie voneinander abzugrenzen. Genau dafür brauchen wir unsere Augen, speziell die Stäbchen und Zapfen auf ihrer Netzhaut. Diese Rezeptoren reagieren auf die von den Dingen reflektierten Photonen, indem sie diese aufnehmen und einen elektrischen Impuls erzeugen, der an das Gehirn weitergeleitet wird. Jeder Impuls vermittelt die Information, dass ein Photon eingetroffen ist. Da die Stäbchen und Zapfen über die Netzhaut des Auges verteilt sind, kann die Quelle, von der die eintreffenden Photonen abgestrahlt wurden, ziemlich genau bestimmt werden. Hinzu kommt, dass wir die jeweilige Lichtquelle mit beiden Augen, also aus unterschiedlichen Gesichtswinkeln lokalisieren, so dass eine räumliche Vorstellung der Welt entsteht.

Aus dem Fakt, dass unsere Augen zwei Arten von Lichtrezeptoren besitzen, leitet sich die Frage ab, worin sie sich unterscheiden?

Fangen wir mit den Stäbchen an. Stäbchen reagieren auf das gesamte Spektrum des für uns sichtbaren Lichts. Sie sind dabei

tausendmal empfindlicher als die Zapfen. Durch ihre hohe Empfindlichkeit ermöglichen die Stäbchen das Sehen auch dann, wenn nur eine geringe Lichtmenge vorhanden ist, wenn nur wenige Photonen auf die Augen treffen. Die Kehrseite dieser Lichtempfindlichkeit ist, dass die Stäbchen bei hoher Lichtintensität keine Informationen liefern können, da für sie dann alles nur noch "hell" erscheint. Jedes Stäbchen liefert dabei die Information für einen Bildpunkt, der entweder angeknipst oder ausgeschaltet ist. Angeknipst heißt, Photon ist eingetroffen und der Bildpunkt ist hell; ist kein Photon eingetroffen, bleibt der Bildpunkt dunkel. Auf diese Weise entsteht ein Rasterbild mit hellen und dunklen Punkten. Da die Zahl der Bildpunkte deutlich höher ist als die Auflösung des Bildes, das uns das Gehirn zur Verfügung stellt, kann man diese Rasterpunkte, ähnlich wie beim Fernseher, nicht wahrnehmen. Das wird umso verständlicher, wenn man weiß, dass ein Auge rund 126 Millionen Lichtrezeptoren zählt, jedes Auge wohlgermerkt. Statt eines Teppichs heller und dunkler Punkte erkennen wir helle und dunkle Flächen, aber auch solche, die weniger hell oder weniger dunkel sind. Sie bilden eine Palette grau erscheinender Abstufungen.

Es ist ein besonderes Erlebnis, nachts durch einen Park zu schlendern. Nehmen wir an, der Park sei nicht beleuchtet und der Himmel eher verhangen, so dass nur ein geringes Restlicht den Weg weist. Nach einiger Zeit haben sich unsere Augen an die Dunkelheit gewöhnt, so dass sich die Umrisse der nahestehenden Bäume, mehr schemenhaft als scharf, abzeichnen. Sie sind dunkler als ihre Umgebung, da das Holz das Licht in starkem Maße absorbiert. Da taucht eine Pfütze auf. Sie verrät sich, weil an ihrer Oberfläche ein flüchtiges Sternenlicht gespiegelt wird. Oh, was war das? Da bewegte sich etwas. Es könnte ein Kaninchen

gewesen sein, dass über die Lichtung huschte. Erwacht da etwa der Jagdinstinkt? Vielleicht war es auch nur eine Katze. In der Nacht sind alle Katzen grau. Je nachdem, wie stark ihr Fell das verbliebene Licht reflektiert, nehmen wir ein helleres oder ein dunkleres Grau wahr. Auf diese Weise grenzen sich für uns nicht nur Katzen, sondern alle Dinge voneinander ab. Sie lassen sich selbst bei geringem Licht nach ihrer Helligkeit unterscheiden, auch wenn ihre Umrisse etwas unscharf sind und alle irgendwie grau erscheinen. Die Vielfalt der Graustufen ermöglicht es, sich im Dämmerlicht zurechtzufinden und vielleicht sogar auf die Jagd zu gehen. Das mag für unsere Vorfahren von großer Bedeutung gewesen sein, hing ihr Überleben doch oft vom Jagderfolg ab. Wenn man dies bedenkt, ist es nicht verwunderlich, dass 95% der Lichtrezeptoren unserer Augen Stäbchen sind, obwohl wir heute eher selten auf die Jagd gehen.

Methodische Grundlage meiner Betrachtungen ist die Dialektik. Im Mittelpunkt des dialektischen Denkens steht das Wirken von Gegensätzen respektive Widersprüchen, deren Wirkungsweise ich im zweiten Teil behandle. Dort werden auch Fragestellungen aus dem ersten Teil noch einmal aufgegriffen, um die ihnen innewohnende Dialektik zu vertiefen. An dieser Stelle sei auf den Abschnitt „Die Dialektik von hell und dunkel“ verwiesen.

Heutzutage ist für die meisten von uns die Vielfalt des Grauen in der Dämmerung eher zum Fürchten, wir lieben es hell und bunt. Nun kommen die Zapfen ins Spiel. Es gibt drei Arten von Zapfen, S-Zapfen, M-Zapfen und L-Zapfen. „S“ steht für short, das heißt, sie reagieren auf Photonen mit kurzen Bewegungszyklen, das heißt hohen Frequenzen, M-Zapfen erfassen Photonen mit mittleren und L-Zapfen mit langen Bewegungszyklen, also geringen Frequenzen.

Die Zapfen reagieren allerdings erst ab einer bestimmten Intensität des Lichts, eigentlich erst dann, wenn die Stäbchen ihren Dienst wegen Überlastung bereits eingestellt haben. Also, hell muss es sein. Die Wirkungsweise der Zapfen ist dabei kaum anders als die der Stäbchen. Sie reagieren auf das Eintreffen von Photonen, indem sie einen elektrischen Impuls generieren, der an das Gehirn weitergeleitet wird. Der Unterschied zu den Stäbchen besteht darin, dass die Zapfen nicht alle gleichermaßen auf das sichtbare Licht reagieren, sondern jede Art nur auf Photonen mit speziellen Frequenzen. Wozu soll das gut sein, könnte man fragen. Nun, die Dinge um uns herum reflektieren das eintreffende Licht nicht nur mehr oder weniger stark, wofür eine Unterscheidung nach hell und dunkel ausreichend wäre, sie sind bei der Reflexion des Lichts auch wählerisch, das heißt, sie nehmen einige Teile des Lichts, deren Frequenzen ihnen nützlich sind, auf, während sie andere Teile schnell wieder loswerden wollen. Letztere werden reflektiert, das heißt, in Form von Photonen abgestrahlt. Da die Dinge unterschiedliche Vorlieben in Bezug auf die Photonen haben, werden sie zu spezifischen Quellen von Licht, eines Lichts, das jeweils nur einige Frequenzen umfasst. Kann man diese Eigenart der Dinge erfassen, lassen sie sich deutlich besser differenzieren, als es mit hell und dunkel möglich wäre. Der Nachteil besteht darin, dass auf diese Weise große Mengen an Informationen entstehen, die so verarbeitet werden müssen, dass sie tatsächlich bei der Orientierung in der Umwelt helfen und nicht etwa Verwirrung stiften. Die Lösung, die Mutter Natur für dieses Problem fand, sind die Farben.

Ich liebe Rosen. Besonders mag ich Rosen in einem leuchtenden Rot. Doch, wieso sind die Blütenblätter dieser Rosen so wunderbar rot? Sie reflektieren nur Photonen mit einer Frequenz von 430 bis 480 Billionen Zyklen pro Sekunde, alle anderen

Lichtbestandteile werden durch die Blütenblätter absorbiert, das heißt aufgenommen. Das Resultat dieses Vorgangs ist, dass nur ein Teil der Zapfen des Auges, nämlich die L-Zapfen, beim Anblick der Rose etwas zu tun bekommen. Die anderen Zapfen können nur konstatieren, dass sie nicht betroffen sind. Die L-Zapfen senden Impulse an das Gehirn, die signalisieren, dass die Blütenblätter dieser Rose Licht einer bestimmten Frequenz intensiv reflektieren, das heißt abstrahlen. Das Gehirn verarbeitet diese Impulse ebenso wie die fehlende Reaktion der beiden anderen Zapfenarten und kommt zu dem Schluss, dass die Blüte dieser Rose satt rot sein muss. Und, wie macht das Gehirn das? Zuerst wertet es die Gesamtheit der von allen drei Zapfenarten registrierten Lichtquanten aus und ordnet ihm ein Helligkeitswert zu; die Stäbchen waren ja von dem vielen Licht bereits überfordert und hatten ihren Dienst eingestellt. Außerdem ist den Signalen der einzelnen Zapfen ein Sinneseindruck, eine Farbe fest zugeordnet, den Signalen der S-Zapfen blau, denen der M-Zapfen grün und denen der L-Zapfen rot, so dass ein Farbeindruck entsteht. Doch, unsere Welt ist nicht nur blau, rot und grün. Wie entstehen die anderen Farben? Nun, die verschiedenen Grundfarben können miteinander kombiniert werden. Wenn zum Beispiel die L-Zapfen (rot) und die M-Zapfen (grün) das Eintreffen von Photonen registrieren und von den S-Zapfen keine Meldung kommt, dann ordnet das Gehirn dem Ganzen die Farbe Gelb zu. Melden alle drei Zapfen gleichermaßen Photonen, dann ist der zugeordnete Sinneseindruck weiß. Falls alle drei Zapfen das Fehlen von Photonen registrieren, kann nur schwarz die Folge sein. Doch halt, wenn ich in meinem Farbkasten rot und grün mische, bekomme ich zwar auch eine neue Farbe, aber gelb ist das nicht.

Das sind noch längst nicht alle Merkwürdigkeiten der Farbwahrnehmung, denn wir besitzen zwar nur drei Arten von Zapfen, kennen aber eine fast unüberschaubare Vielfalt von Farben, Farbübergängen und Nuancen. Wie kann das sein? Bisher haben wir so getan, als gäbe es um uns herum nur reine Oberflächen, die die Lichtstrahlen einer bestimmten Frequenz reflektieren, oder eben nicht. Stoffe sind aber nicht rein, sie weisen immer mehr oder weniger große Beimengungen anderer Stoffe auf. Das bedeutet, der Farbeindruck, der von einer Oberfläche hervorgerufen wird, müsste eigentlich eine Mischung von Farbpunkten sein, die noch dazu ungleichmäßig verteilt sein können. Da dies für die Orientierung in der Umwelt wenig hilfreich wäre, werden Farbpunkte, die relativ regelmäßig auf der Oberfläche verteilt sind, vom Gehirn zu einem einheitlichen Farbeindruck verschmolzen. Da die Häufigkeit der verschiedenen Farbpunkte unterschiedlich sein kann, was eine wichtige Information für die Unterscheidung der Dinge ist, wird diese Unterschiedlichkeit vom Gehirn durch Abweichungen von den Grundfarben deutlich gemacht. Auf diese Weise entsteht eine ganze Palette von Farben und Farbtönen mit einer Vielzahl von Nuancen. Sind die Beimengungen nicht gleichmäßig verteilt, sondern unregelmäßig platziert, könnte auch dies eine wichtige Information sein. Die Unterschiede in der Oberfläche werden in einem solchen Fall nicht durch einen einheitlichen Farbeindruck zugedeckt, sondern sie bleiben als Flecken oder sonstige Muster erkennbar.

Es ist jedoch noch nicht recht klar, wie aus dem Gemisch von Farbpunkten ein ganzheitlicher Farbeindruck, der noch dazu viele Abstufungen zeigen kann, entsteht. Dafür gibt es eigentlich nur eine Erklärung, nämlich, dass das Gehirn den Impulsen der einzelnen Zapfen einen Wert beigibt und dann die gesammelten

Werte miteinander verrechnet. Es entsteht ein rechnerischer Farbwert, dem ein Farbton für die gesamte betrachtete Teilfläche zugeordnet wird. Mit dieser Annahme ließen sich auch die eigentlich unlogischen Farbeindrücke der im Tuschkasten gemischten Farben erklären. Ein rechnerisch ermittelter Durchschnittswert hat allerdings den Nachteil, dass dieser aus der Kombination unterschiedlicher Lichtbestandteile resultieren könnte. Das kann zur Folge haben, dass einigen Oberflächen, die Licht unterschiedlich reflektieren, trotzdem der gleiche Farbton zugeordnet wird. Dieses tatsächlich auftretende Phänomen wird als Metamerie bezeichnet.

Der rechnerische Farbwert wird nicht nur von der jeweiligen Fähigkeit der Dinge zur Absorption und Reflexion des Lichts bestimmt, sondern auch von der Zusammensetzung des auftreffenden Lichts. Fehlen beim auftreffenden Licht einige Bestandteile können sie auch nicht reflektiert werden, können sie nicht in den Farbeindruck, den das Gehirn bereitstellt, einfließen. So kann sich ein Farbeindruck mit dem Stand der Sonne verändern, zum Beispiel dann, wenn sich die Sonne dem Horizont nähert und einzelne Lichtanteile durch den schrägen Einfallswinkel stärker von der Atmosphäre reflektiert werden und somit dem Auge nicht zur Verfügung stehen. Noch augenscheinlicher ist der Einfluss der Lichtquelle auf den Farbeindruck bei künstlichem Licht, da dieses oft anders als das Sonnenlicht zusammengesetzt ist. Deshalb sollte man nur Kleidungsstücke kaufen, die man bei Tageslicht gesehen hat, da dann deren Farbigkeit buchstäblich in einem anderen Licht erscheint. Wenn aber die Zusammensetzung des Lichts Einfluss auf unsere Farbwahrnehmung hat, dann kann das nur heißen, dass Farben keine originären Eigenschaften der Dinge sind. Es sind Fiktionen, die uns helfen, die generierte Informationsflut zu

überblicken, damit wir in der Umwelt sicher agieren können. Ihre Basis sind die von den Augen registrierten Photonen, die sich nur in ihrer Frequenz unterscheiden. Weder die Photonen noch die elektrischen Impulse, die die Informationen der Augen an das Gehirn weiterleiten, haben eine Farbe oder einen Helligkeitswert. Diese können demnach erst im Gehirn entstehen.

Musik ist meine Welt

Ich habe den Eindruck, Musik wird für uns Menschen immer wichtiger. Ob beim Sport, beim Autofahren oder in öffentlichen Verkehrsmitteln, beim Tanzen, Lieben, Lernen, im Film oder in einer Show - Musik ist immer dabei. Woher kommt das? Sind die Menschen heute musikalischer als früher? Musik hat im Leben der Menschen schon immer eine Rolle gespielt. In den Anfängen der Menschheitsentwicklung war das wichtigste Instrument sicher die Stimme - die ruhige Stimme der Mutter, die ihr Baby in den Schlaf summt, die fordernde Stimme, die zur Jagd oder zum Kriegszug ruft und natürlich die werbende Stimme des Liebenden. Bald wurden auch Instrumente eingesetzt, vor allem um den Rhythmus zu betonen und auf diese Weise zum Tanz zu animieren. Später kamen Worte hinzu, die beschwörend oder beschwichtigend das Anliegen der Musik unterstützten. Wahrscheinlich war es aber meist der Klang der Worte, der Einfluss ausübte, denn ihr Inhalt muss erst verstanden und ausgewertet werden, bevor er eine Wirkung erzielen kann. Musik hat dagegen den Vorteil, dass sie direkt Zugang zu den Gefühlen findet.

Der ein oder andere war vielleicht schon einmal in der Situation, eine Liebeserklärung oder gar einen Heiratsantrag formulieren zu wollen. Oh Schreck, das kann ziemlich in die Hose gehen, denn auf die wohl gesetzten Worte ist nicht immer Verlass. Man kann sich

alles so schön ausmalen, doch, wenn die Umstände nicht passen oder die Angebetete nicht in Stimmung ist, dann steht der Erfolg in den Sternen. Also, eine entsprechende Stimmung muss her. Gutes Essen, Blumen, Kerzen, vielleicht ein Geschenk können von Nutzen sein. Eines sollte nicht fehlen - die passende Musik. Sie hilft, ein stimmungsvolles Ambiente zu erzeugen. Außerdem spielen der Klang und die Färbung der Stimme des Werbenden eine wichtige Rolle, denn sie drücken seine Gefühle besser aus, als die Worte es vermögen. Letztlich ist es in einer solchen Situation wohl nicht einmal entscheidend, was man sagt, sondern wie es gesagt wird. Mit der Stimme lassen sich jedoch nicht nur liebevolle Gefühle, sondern auch Abneigung, Hass, Überheblichkeit oder Desinteresse transportieren. Das Gleiche gilt natürlich für die Musik, auch sie kann ganz unterschiedliche Gefühle ansprechen. Zur Untermalung eines Heiratsantrags würde man wahrscheinlich nicht auf einen Militärmarsch vertrauen, denn der würde bei der Angebeteten kaum eine gnädige Stimmung erzeugen. Wahrscheinlich würde sie einem "Durchmarsch" ins Ehebett mit Widerstand begegnen. Zum Glück gibt es für jede Situation die passende Musik, seien es Kinderlieder, Kirchenlieder, Liebeslieder, Trauermusik, Tanzmusik, Musik zur Entspannung oder zum Anheizen von Aggressionen. Die verschiedenen Arten von Musik sind Ausdruck von Stimmungen, und sie erzeugen oder verstärken diese. Worte sind dazu nicht zwingend erforderlich, sie können jedoch die emotionale Wirkung der Musik verstärken.

Es bleibt die Frage, warum Musik für uns scheinbar immer wichtiger wird. Wir leben in einer stark vernetzten Welt, in der verbale Kommunikation, basierend auf Sprache und Schrift, allgegenwärtig erscheint. Nur wer in der Lage ist, persönliche Netzwerke aufzubauen, zu pflegen und zu erweitern, hat gute

Chancen auf beruflichen Erfolg. Ob man einen Job sucht, Produkte vermarkten oder seine Ideen unter das Volk bringen will, keiner kommt an einem auf verbaler Kommunikation beruhenden Networking vorbei. Das führt dazu, dass man sich mit seinem Leben immer mehr in die Öffentlichkeit begibt. Dieses Leben in der Öffentlichkeit schreit förmlich nach einem Gegengewicht, nach Möglichkeiten des "Für-sich-seins". Die Musik bietet diese Möglichkeit, sie eröffnet gleichzeitig die Chance, dieses "Für-sich-sein" mit anderen zu teilen, wenn man es denn will. Musik ist darüber hinaus in unserer so kompliziert gewordenen Welt etwas Einfaches, das nicht erklärt werden muss, das direkt die Gefühle anspricht. Nicht zu unterschätzen ist auch die Tatsache, dass Musik jeder Art heute beinahe immer und überall verfügbar ist.

Aber, was ist Musik überhaupt? Ganz nüchtern betrachtet entsteht Musik dadurch, dass mit Hilfe von Instrumenten Schwingungen erzeugt werden. Derartige Instrumente können die Stimmbänder eines Menschen sein, aber natürlich auch die mechanisch zum Schwingen gebrachten Saiten einer Gitarre oder eine Lautsprechermembran, die mit Hilfe von elektrischem Strom Schwingungen erzeugt. Das, was da zum Schwingen gebracht wird, ist die Luft. Die Schwingungen der Luft breiten sich in Form von Schallwellen aus. Doch, wie wird bewegte Luft zu Musik? Wir nehmen Musik mit einem Sinnesorgan wahr - dem Ohr. In das Ohr gelangen die Schallwellen vorwiegend über die Ohrmuschel und den äußeren Gehörgang. Sie werden zum Trommelfell weitergeleitet, dass von den Schallwellen seinerseits in Schwingungen versetzt wird. Im Innenohr werden die Luftwellen dann in Flüssigkeitswellen, das heißt in Bewegungen der dort vorhandenen Lymphe, umgewandelt. Diese eigenartige Umwandlung haben wir wahrscheinlich dem Fakt zu verdanken,

dass das Leben im Wasser entstand. Die Flüssigkeitswellen treffen auf Haarzellen, die die eigentlichen Sinneszellen sind. Wird eine der zirka 3.500 Haarzellen durch die Lymphe bewegt, generiert sie einen elektrischen Impuls, der an das Gehirn weitergeleitet wird. Die unterschiedliche räumliche Struktur, in der die Haarzellen angeordnet sind, ermöglicht die Differenzierung der Schallwellen in einem Bereich von 16 bis 20.000 Schwingungen pro Sekunde. Außerdem haben die eintreffenden Schallwellen einen unterschiedlichen Energiegehalt, der sich im Druck, mit dem sie auf das Ohr treffen, manifestiert. Der unterschiedliche Druck führt zu unterschiedlich starken Bewegungen der Haarzellen und damit zu unterschiedlich intensiven Impulsen an das Gehirn. Damit sich die Haarzellen überhaupt bewegen, das heißt, damit man etwas hören kann, muss die auftreffende Schallwelle eine Mindeststärke besitzen. Ist sie umgekehrt zu energiereich, kann sie die Haarzellen schädigen, unter Umständen sogar zerstören. Soweit so gut, doch wie wird aus den von den Haarzellen ausgehenden elektrischen Impulsen Musik?

Es ist wieder das Gehirn, das den von den Haarzellen eintreffenden Impulsen Sinneseindrücke, in diesem Fall Geräusche, Laute oder Töne, zuordnet. Mit hohen Tönen werden hochfrequente Schallwellen gekennzeichnet, tiefe Töne stehen für Schallwellen mit niedriger Frequenz. Die Stärke des Impulses wird über unterschiedliche Lautstärken differenziert. Würde das Gehirn es dabei bewenden lassen, dann wäre uns wahrscheinlich wenig geholfen, schon gar nicht, wenn wir in einer Großstadt leben. Der hereinbrechende Schwall von Geräuschen, Lauten und Tönen würde uns binnen kurzer Zeit zur Verzweiflung treiben. Damit die Schallwellen zur Orientierungshilfe werden, muss das Wirrwarr an Geräuschen und Tönen aufgelöst, müssen die eintreffenden Schallwellen voneinander abgegrenzt werden. In

diesem Zusammenhang ist es hilfreich, dass wir zwei Ohren haben und auf diese Weise den jeweiligen Verursacher der Schallwellen recht präzise orten können, so dass das Gehirn unwichtig erscheinende Schallquellen ausblenden kann. Außerdem wertet es nicht nur die von den Haarzellen eingehenden Impulse aus, auch das Fehlen von Impulsen ist eine wichtige Information, die in die Auswertung einfließt. Dem Ausbleiben eines Signals ordnet das Gehirn den Eindruck von Stille oder Lautlosigkeit zu. Diese Fähigkeit ermöglicht es, die kurzen Pausen zwischen den Lauten und Tönen zu erfassen, so dass einzelne Geräusche, aber auch Laut- beziehungsweise Tonfolgen voneinander abgegrenzt werden können.

Nun bleibt noch die Frage, wie wir die registrierten Geräusche oder Laut- und Tonfolgen identifizieren, das heißt erkennen. Dazu müssen wir sie schon einmal gehört haben, das heißt, sie müssen zu unserem Erfahrungsschatz zählen. Das Hinzuziehen von Erfahrungen spielt in allen Bereichen des Lebens eine große Rolle. Selbst unsere Sprache basiert auf Erfahrungen, denn das Gehirn muss den registrierten Lauten und Lautfolgen einen Sinn zuordnen, den es aus dem Abgleich mit Erlerntem bezieht. Das Erkennen von Musik beruht ebenfalls auf einem solchen Abgleich. Wird das Gehirn in den gespeicherten Erfahrungen fündig, kann man die Melodie erkennen und gegebenenfalls mitsummen. Selbst wenn die konkrete Melodie nicht erkannt wird, kann sie vielleicht einem Musikgenre zugeordnet werden, so dass schon nach den ersten Takten klar wird, ob einem diese Musik gefällt oder nicht. Da immer wieder neue Erfahrungen hinzukommen, können sich diese Vorlieben ändern. Wie dem auch sei, jedenfalls entsteht erst in unserem Kopf aus bewegter Luft das, was wir als Geräusche, Sprache oder Musik bezeichnen.

Die Geschmäcker sind verschieden

Wo mag diese Binsenweisheit herkommen? Sicher, der Geschmack der Menschen in puncto Farben, Design, Musik und anderem ist unterschiedlich. Gott sei Dank, möchte man sagen. Die Alternative wäre ein abgeschmacktes Einerlei - wie langweilig. Aber warum sind die Geschmäcker unterschiedlich? Man kommt dieser Frage wohl nur näher, wenn man sich der Bedeutung des Wortes "Geschmack" zuwendet. Der Geschmack steht eigentlich nicht allgemein für das, was gefällt, er hat vielmehr etwas mit dem Schmecken, also einer speziellen Wahrnehmung zu tun. Der dafür verantwortliche Geschmackssinn wird zu den am wenigsten ausgeprägten Sinnen des Menschen gezählt. Für unsere frühen Vorfahren war er trotzdem überlebenswichtig, denn mit Hilfe des Schmeckens kann das, was in den Mund geschoben wird, dahingehend bewertet werden, ob es als Nahrung taugt oder eher nicht. Neugeborene haben zum Beispiel eine Vorliebe für Süßes und für den Geschmack von Eiweiß (umami). Beides signalisiert, dass das, was da gerade in den Mund gelangt, nahrhaft ist. Saures und Bitteres werden dagegen vehement abgelehnt. Sauer sind Früchte, die noch nicht reif oder gar vergoren sind. Sie sind nur bedingt bekömmlich und kommen als Energielieferanten kaum in Betracht. Bitteres kann sogar giftig sein. Salziges mögen wir in Maßen, weil der Körper Salz braucht. Zu viel Salz bringt ihn um.

So weit so gut, aber wie entsteht Geschmack? Energetische Strahlen oder bewegte Luft scheinen diesmal nicht im Spiel zu sein, erforderlich sind jedoch Sinneszellen, die einen elektrischen Impuls generieren, der an das Gehirn weitergeleitet wird. Solcherart Sinneszellen befinden sich zu jeweils 30 bis 70 Stück in Geschmacksknospen, die an Zunge, Gaumen und Kehldeckel sitzen. Ein Erwachsener verfügt über 2.000 bis 5.000 solcher

Knospen, bei Jugendlichen zählt man bis zu 9.000. Warum nimmt deren Zahl mit dem Erwachsenwerden ab? Wahrscheinlich hängt das mit den Veränderungen, die sich im Laufe der Evolution ergaben, zusammen. Ursprünglich mag der Geschmack, wie gesagt, überlebenswichtig gewesen sein, was sich in seiner Rolle, die er noch heute für Neugeborene hat, widerspiegelt. Im Laufe der Evolution gewannen jedoch andere Informationsquellen beziehungsweise Sinnesorgane größere Bedeutung. Diese Veränderung hat wahrscheinlich ihren Niederschlag in einer Verringerung der Geschmacksknospen während des Heranwachsens gefunden.

Die in den Geschmacksknospen versammelten Rezeptoren sind auf unterschiedliche Stoffe spezialisiert, die als süß, sauer, salzig, umami oder bitter identifiziert werden. In den letzten Jahren hat man auch Rezeptoren für Fett nachgewiesen. Die einzelnen Stoffe reizen die Sinneszellen des Geschmacks auf unterschiedliche Weise. Man vermutet, dass salzige und saure Stoffe eine schwache elektrische Spannung im Inneren der entsprechenden Sinneszellen erzeugen und auf diese Weise einen elektrischen Impuls auslösen. Bitter, süß und umami werden identifiziert, indem die im Speichel gelösten Moleküle an entsprechende Rezeptoren andocken und dort biochemische Prozesse bewirken, die wiederum einen elektrischen Impuls freisetzen. Die Rezeptoren für Bitteres sind ihrerseits noch einmal in 25 verschiedene Unterarten differenziert. Als bitter werden Stoffe wahrgenommen, die für den Körper schädlich sein können, weshalb es wichtig ist, diese Stoffe zuverlässig zu bestimmen, um sofort eine gezielte Reaktion zu ermöglichen. Ausspucken könnte eine Maßnahme sein, aber auch das Herauswürgen des bereits Verschluckten. Süß und umami sind nicht gefährlich, im Gegenteil. Die entsprechenden Rezeptoren sind deshalb nicht

eng spezialisiert, sie gleichen eher einem Universalschloss, in das verschiedene Schlüssel ähnlicher Bauart passen. Das hat zur Folge, dass an die Rezeptoren für Süßes nicht nur Zucker andocken können, auch andere ähnliche Moleküle finden Zugang. Sie werden dann ebenfalls als süß wahrgenommen, was man sich beim Einsatz von Süßstoffen zunutze macht.

Den verschiedenen Geschmackszellen ist gemeinsam, dass sie einen elektrischen Impuls an das Gehirn senden, sobald ein entsprechender Stoff registriert wird. Das Gehirn ordnet dem Signal der Sinneszelle einen Geschmack oder besser eine Geschmacksnuance zu. Der Geschmack im komplexen Sinne ergibt sich aus der Kombination der zum gleichen Zeitpunkt eintreffenden Informationen, die zueinander in Beziehung gesetzt werden, so dass ein Geschmacksbild entsteht. Das Gehirn gleicht dieses Geschmacksbild mit Erfahrungen ab, um auf diese Weise die jeweilige Kombination von Geschmacksnuancen zu identifizieren und ihm eine Bewertung, zum Beispiel "wohlschmeckend", zuzuordnen. Nehmen wir nun Zucker als süß wahr, weil er süß ist, oder ordnet unser Gehirn dem Zucker die uns angenehme Wahrnehmung "süß" zu, weil er eine vielversprechende Energiequelle darstellt? Süß als Anreiz, sozusagen. Da die Geschmackszellen elektrische Impulse an das Gehirn senden, die selbst weder süß noch sauer sein können, muss es wohl wieder das Gehirn sein, das sich als sorgender Übervater betätigt und den einzelnen Signalen spezifische Sinneseindrücke zuordnet. Im Umkehrschluss heißt das, auch Geschmack ist nur eine Fiktion. Weder Zucker, noch Fleisch, noch irgendetwas anderes, was man in den Mund schiebt, hat "Geschmack". Der Geschmack wird den Stoffen vom Gehirn beigegeben. Mehr noch, jedem Geschmack wird gleich noch eine

Bewertung zugeordnet. Nahrhafte Dinge sind wohlschmeckend beziehungsweise angenehm, potenziell gefährliche eher weniger.

Es bleibt die Frage, wieso die Geschmäcker von Mensch zu Mensch verschieden sind? Dafür kommen mehrere Ursachen in Betracht. Eine relativ große Rolle spielen die Gene. Man hat herausgefunden, dass zirka 50 Gene den Geschmack des Menschen beeinflussen. Von diesen Genen ist immer nur ein Teil aktiv. Bei wem welche geschmacksrelevanten Gene aktiv sind und welche nicht, dafür scheint es keine Regel zu geben, jedenfalls hat man bisher keine gefunden. Auf diese Weise entsteht eine riesige Zahl von möglichen Kombinationen aktiver, den Geschmack bestimmender Gene. Der Geschmack wird aber nicht nur durch Gene, sondern auch durch Erfahrungen geprägt und verändert. Man denke nur daran, dass kaum einem Heranwachsenden Bier wirklich schmeckt, denn es ist leicht bitter. Leider ist dies keine dauerhafte Barriere, wie man weiß. Der Rausch, den der Alkohol erzeugt, überdeckt die Abneigung gegen Bitteres nur allzu schnell. Da ich Wein liebe, fand ich auch folgendes Beispiel interessant. Die Erfahrung lehrt, dass Rotweine meist durch kräftigere Aromen gekennzeichnet sind als Weißweine. Bei einer Verkostung eines roten und eines weißen Weines, die ansonsten einen ähnlichen Charakter zeigen, würde die Bewertung der Weine, der Erfahrung folgend, dem roten kräftigere Aromen bescheinigen. Werden dieselben Weine mit verbundenen Augen verkostet, dann stellen die meisten Probanden jedoch kaum mehr Unterschiede fest.

Neben den Genen und den Erfahrungen gibt es weitere Faktoren, die ein Geschmackserlebnis beeinflussen. Einer dieser Faktoren ist das Allgemeinbefinden. Wenn ein Mensch krank ist und es ihm schlecht geht, dann kann ihn Essen wahrscheinlich nicht locken. Nichts würde schmecken. Hat gar Montezumas Rache

zugeschlagen, dann können schon geringste Spuren eines eigentlich geliebten Gewürzes Brechreiz auslösen. Auch das Wetter spielt eine Rolle. Ist es bitter kalt, schmecken andere Dinge, als wenn es drückend heiß ist. Natürlich kann auch das, was wir kurz vorher gegessen oder getrunken haben, das Geschmackserlebnis beeinflussen. Wir wissen außerdem, Hunger ist der beste Koch. Das heißt, je hungriger jemand ist, desto besser wird ihm das Essen schmecken. Für den Ausgehungerten ist selbst trockenes Brot eine Delikatesse. Umgekehrt mag dem Satten auch die tollste Leckerei ungenießbar erscheinen. Eine lila Kuh wird nach dem Verzehr von drei Tafeln Vollmilchschokolade bei den meisten Menschen eher Ekel als freudige Erwartung auslösen. Es soll nicht unterschlagen werden, dass auch der Geruch einen gewichtigen Anteil am Geschmackserlebnis hat. Hinzu kommen der Tastsinn im Mund, der uns die Konsistenz der Speisen signalisiert, sowie das Wärme- und das Schmerzempfinden. Letzteres ist für die von vielen geschätzte Schärfe zuständig, denn diese ist eigentlich ein Schmerz, den scharfe Gewürze im Mundraum verursachen. Zu guter Letzt trägt auch das Auge seinen Teil bei, es „isst mit“, wie man sagt. Gemeint ist, dass ein ansprechendes Aussehen und Arrangement der Speisen, ebenso wie ein gelungenes Ambiente im Raum, das Geschmackserlebnis befördern.

Gerade beim Geschmack wird also deutlich, dass das Gehirn dem ursprünglichen Signal der Sinneszellen nicht nur einen spezifischen Eindruck, einen Geschmack zuordnet, sondern dass es auf der Grundlage vielfältiger Faktoren die Wahrnehmung jedes Mal neu bewertet. Auf diese Weise entsteht für ein und dieselbe Speise nicht nur bei verschiedenen Menschen ein unterschiedlicher Geschmack, das Geschmackserlebnis wird auch beim selben Menschen je nach Lebenssituation unterschiedlich

sein. Diese individuelle Bestimmtheit des Geschmacks trug sicher dazu bei, dass der Begriff des Geschmacks auch in anderen Zusammenhängen Anwendung fand.

Ich kann dich nicht riechen

Riechen und schmecken gehören eng zusammen. Man könnte sagen, sie sind Partner, wobei sich der Geruch in vielerlei Hinsicht als Chef geriert. Das liegt auch daran, dass man etwas erst schmecken kann, wenn das zu begutachtende bereits in den Mund gelangt ist, was für viele Gefahren, zu spät sein kann. Wenn man Asche im Mund wahrnimmt, dann ist das Feuer bereits so nah, dass es mit dem Weglaufen schwierig wird. Aber, kein Feuer ohne Rauch. Der Rauch besteht aus Molekülen, die der Wind davonträgt und die deshalb den Flammen weit vorausziehen können. Diese Partikel werden vom Geruchssinn registriert, der nun Alarm schlagen kann. Der Geruch warnt jedoch nicht nur vor Gefahren, er hilft auch bei der Nahrungssuche. Die Partikel offenbaren zudem, ob eine anvisierte Nahrung genießbar ist oder vielleicht schon verdorben. Als verdorben erkannte Nahrung braucht man nicht mehr in den Mund schieben, um festzustellen, dass sie nicht bekömmlich ist. Wie der Geruch hilft, eine Nahrungsquelle aufzuspüren, zeigen uns Neugeborene. Sie erschnuppern die Milchquelle, die sie noch nicht sehen können, und docken zielstrebig an. Das Baby trifft dazu keine Entscheidung nach dem Motto "oh, eine Milchquelle, die sollte ich probieren", der Geruch der Milch löst vielmehr direkt eine in den Genen programmierte Reaktion aus.

Gerüche spielen auch bei der Partnerwahl eine große Rolle, denn die genetische Verfasstheit eines Kandidaten kündigt sich über seinen Geruch an. So können sich Menschen, die sich genetisch ähnlich sind, oft "nicht riechen", sie werden als Partner für die

Fortpflanzung abgelehnt. Diese Ablehnung erfolgt nicht aus einer überlegten Entscheidung heraus, sie wird vielmehr unwillkürlich vom Geruch provoziert. Die meisten Menschen könnten in einem solchen Fall wohl nicht einmal sagen, warum sie den einen oder die andere als Partner beziehungsweise Partnerin ablehnen. Der Geruch kann auch andere Informationen zur allgemeinen biologischen und psychischen Verfassung eines Menschen vermitteln, denn Krankheiten, Stress oder Angst verändern sein Geruchsbild. Hunde und Katzen zeigen uns mit ihrem Verhalten, dass sie solche Veränderungen erkennen, eine Fähigkeit, die wir Menschen scheinbar verloren haben. Es ist aber auch möglich, dass wir diese Gerüche zwar wahrnehmen, aber nicht einordnen können. Ich finde es eine vielversprechende Idee, dieses Manko durch Technik auszugleichen, mit deren Hilfe aus der Atemluft oder aus Körperausdünstungen auf den Gesundheitszustand des Untersuchten geschlossen werden kann.

Für uns ist im Moment die Frage wichtiger, wie Geruch entsteht. Lebewesen, wie auch alle Dinge um uns herum, sondern Moleküle ab beziehungsweise diese lösen sich aus dem Verbund der Stoffe. Sie werden durch die Luft davongetragen, bis sie sich wieder irgendwo anlagern. Atmet man diese Moleküle mit der Luft ein, gelangen sie auf ihrem Weg durch die Nase zur Riechschleimhaut. Auf diesem, nur wenige Quadratzentimeter großen Fleck befinden sich 10 bis 30 Millionen Riehzellen, die insgesamt 350 bis 400 verschiedene Duftrezeptoren tragen. Jeder Duftrezeptor hat sich auf Moleküle mit einer bestimmten Struktur spezialisiert, die bei ihm den perfekten Platz zum Andocken finden. Lagert sich ein entsprechendes Molekül an, wird durch die Sinneszelle ein elektrischer Impuls an das Gehirn gesandt. Das Gehirn registriert, welcher Rezeptor reagiert hat und ordnet dem Signal einen Duft zu. Da die eingeatmete Luft viele unterschiedliche Moleküle

transportiert, reagieren auch eine ganze Reihe unterschiedlicher Rezeptoren. Als Ergebnis entstehen komplexe Düfte, und dies in unzähligen Varianten. Ein gesunder Mensch kann mehr als 10.000 solcher Kombinationen unterscheiden, ohne freilich alle benennen zu können. Die meisten Düfte lösen keine unmittelbaren Aktionen aus, weil das Gehirn extrem schwache und andere, als unwichtig bewertete, Gerüche aussortiert. Die als wichtig eingestuften Düfte führen in der Regel zur Aktivierung eines in den Genen hinterlegten Reflexes. So macht der Duft von leckerem Essen den Mund wässrig, ohne dass man darüber nachdenken muss. Wird den eingehenden Duftinformationen große Bedeutung für Leib und Leben zugemessen, zum Beispiel, weil sie Feuer signalisieren, dann ist jedoch eine komplexe Bewertung der Situation und eine darauf basierende Entscheidung zum weiteren Verhalten angezeigt. Weglaufen, könnte eine Maßnahme sein, oder das Feuer löschen, wenn es denn möglich ist.

Es ist warm oder mir ist warm?

Wir haben noch nicht alle fünf Sinne beisammen. Die Haut fehlt. Sie ist ein wahres Multitalent. Mit der Haut ertasten wir Formen, spüren Druck, registrieren leichteste Berührungen genauso wie Vibrationen und Dehnungen. Als kleine Zugabe zeigt sie uns die Wärme oder Kälte der Dinge an, mit denen sie in Berührung kommt. Letzteres wollen wir uns etwas näher ansehen.

Die Wärme eines Stoffes widerspiegelt seinen Energiegehalt, der wiederum Ausdruck der Bewegungsintensität seiner Bestandteile ist. Wenn man einem Stoff Energie entzieht, wird er kälter, die Bewegungsintensität in seinem Innern nimmt ab. Würde man ihm alle Energie entziehen, würde auch jede Bewegung in ihm ersterben, der absolute Nullpunkt wäre erreicht. Im Experiment

ist man dem absoluten Nullpunkt sehr nahegekommen, man erreicht ihn jedoch nicht ganz, weil absolute Bewegungslosigkeit wider die Natur, mithin ausgeschlossen ist. Natürlich ist auch der umgekehrte Fall möglich, dass ein Stoff Energie aufnimmt und dadurch wärmer wird, wobei die Bewegung in seinem Innern zunimmt. Die Aufnahme oder Abgabe von Energie erfolgt durch direkten Kontakt der Stoffe oder durch Strahlungsprozesse. Wärme kann zum Beispiel als warme Luft aus dem Mittelmeerraum zu uns gelangen, aber auch durch die Strahlen der Sonne. Das heißt, die Luft kann warm sein, obwohl sich die Sonne den ganzen Tag nicht blicken ließ. Sie kann aber auch kalt sein und uns frieren lassen, trotzdem möchte man die Jacke ausziehen, sobald die Sonne ausdauernd scheint.

Der Mensch braucht für sein Wohlbefinden eine möglichst gleichbleibende Körperwärme. Eine der Aufgaben der Haut ist es festzustellen, ob und inwieweit die Umgebungswärme von der Körperwärme abweicht. Wenn die Umgebung kälter ist, als dem Körper guttut, muss dieser vor Energieverlust geschützt werden. Dazu zieht sich die Haut zusammen, Gänsehaut entsteht. In einer solchen Situation ist es auch wichtig, den Stoffwechsel auf Touren zu bringen, um dem Körper zusätzlich Energie bereitzustellen. Das kann zum Beispiel durch Zittern erreicht werden. Es soll dem Menschen zudem klarmachen, dass mehr Bewegung jetzt vorteilhaft wäre. Ist es dagegen wärmer, als ihm zuträglich ist, wird das körpereigene Kühlsystem in Gang gesetzt. Es produziert Schweiß, der durch die Wärme verdunstet und dem Körper auf diese Weise Energie entzieht. Doch, wie stellt die Haut fest, ob es in der Umgebung zu warm oder zu kalt ist? Für diese Aufgabe hat sie zwei Arten von Sensoren: Kaltpunkte, die auf Temperaturen zwischen 5 und 36 Grad Celsius reagieren und Warmpunkte, die bei Temperaturen von 25 bis 45 Grad Celsius ansprechen. Werden

diese Sensoren aktiviert, dann generieren sie einen elektrischen Impuls, der an das Gehirn geleitet wird. Auffallend ist, dass sich die Reaktionsbereiche der Kaltpunkte und der Wärmepunkte knapp unterhalb unserer Körpertemperatur überlappen. In diesem Bereich heben sich die Impulse der Kalt- und Wärmepunkte weitgehend auf. Es sind Temperaturen, die für den Körper zuträglich sind, so dass keine Maßnahmen erforderlich werden. Außerhalb des Überlappungsbereichs kann eine kritische Situation entstehen, die Gegenmaßnahmen, wie Gänsehaut, Zittern oder Schweißausbrüche, erfordern. Mitunter reichen diese spontanen Reaktionen allerdings nicht aus, dann sind Entscheidungen und gezielte Aktionen, wie die Flucht in eine schützende Unterkunft oder das Überwerfen einer wärmenden Jacke, gefragt. Liegen die Temperaturen gar außerhalb des Bereichs der Kälte- bzw. Wärmesensoren, dann schalten sich die Schmerzrezeptoren ein, damit Mensch endlich „seine Haut rettet“.

Worauf die Kalt- und Wärmepunkte eigentlich reagieren, ist aber immer noch nicht klar. Die Kalt- und Wärmepunkte messen den Energiegehalt der Luft, indem sie ihn mit ihrem eigenen Energiegehalt abgleichen. Die Wärmepunkte, die etwas tiefer im Gewebe liegen, beziehen auch die Energie der Sonnenstrahlung in ihren Abgleich ein. Wird die Energiedifferenz zu groß, dann generiert die Sinneszelle einen Impuls, der an das Gehirn weitergeleitet wird. Das Gehirn muss die Information mit anderen Informationen abgleichen und bewerten, um die gegebenenfalls erforderlichen Aktionen in Gang zu setzen. Dabei kann es durchaus sein, dass ein gleicher Sachverhalt je nach Situation unterschiedlich bewertet wird. Ein Bad im kalten See kann, trotz der Abweichung von der Körpertemperatur, als "sehr angenehm" empfunden werden, wenn der Körper vorher gehörig aufgeheizt

war. Ist dem Schwimmer dagegen ohnehin schon kalt und er springt trotzdem in den See, dann wird er mit Bibbern und Zähneklappern bestraft.

Ausgangspunkt für die Bewertung der Situation sind die Impulse, die die Kaltpunkte und die Warmpunkte generieren und als elektrische Ladungen an das Gehirn senden. Diese Ladungen sind weder warm noch kalt. Die Wahrnehmung "warm" wird den Impulsen der Warmpunkte vom Gehirn zugeordnet, "kalt" den Impulsen der Kaltpunkte. Diese Sinneseindrücke wie auch ihre Bewertung sollen den Menschen motivieren, sich um sein körperliches Wohlbefinden zu bemühen. Im Umkehrschluss heißt das, auch warm und kalt sind keine Eigenschaften der Welt um uns herum, sondern Erfindungen des Gehirns, die jedoch auf realen Schwankungen der energetischen Situation basieren. Wenn warm und kalt subjektive Empfindungen sind und keine objektiven Eigenschaften der Dinge, dann wäre die Formulierung "mir ist warm" der Formulierung „es ist warm“ vorzuziehen.

Was ist da draußen?

Heute scheint die Sonne. Es ist hell, das Licht lässt die Farben erstrahlen und es wärmt meine Haut. Vögel singen. In der Luft ist ein Hauch von Lindenblüten, so dass man meint, Honig zu schmecken. Dazu tönt aus dem Radio angenehme Musik. Kann ein Morgen schöner sein? Nun brauche ich noch einen Kaffee und ein frisches Brötchen und alles ist perfekt. Aber was von alledem ist real? Real sind das Brötchen und der Kaffee, die Vögel und das Radio auch. Natürlich auch die Sonne, die Lindenblüten und der angenehme Luftzug an diesem Morgen. Dass der Morgen hell ist, die Farben erstrahlen und die Haut von der Sonne gewärmt wird, das ist Fiktion. Es ist die Übersetzung des Gehirns für die Tatsache, dass mich gerade energiereiche Sonnenstrahlung erreicht. Die

Strahlung selbst ist weder hell noch dunkel oder gar farbig und warm. Auch Schwingungen der Luft sind noch lange keine Töne, sie sind lediglich Ausdruck für die Ausbreitung von Energie. Damit aus den Luftwellen, die ein kleiner Vogel erzeugt, Töne werden, wird ein Sinnesorgan, das die Luftschwingungen registriert, elektrische Impulse erzeugt und an das Gehirn weiterleitet, gebraucht. Das Gehirn, der große Kapellmeister, lässt daraus Musik oder eben Vogelgezwitscher werden. Ähnliches gilt für den Geruch der Lindenpollen, den Duft des Kaffees oder den Geschmack des frischen Brötchens. Dass sie riechen oder schmecken, ist eine Hilfe, eine Krücke, die uns das Gehirn an die Hand gibt, damit wir uns in unserer Umwelt zurechtfinden und nicht elend verhungern. Alles, was schön ist, aber auch alles, was uns ärgert oder gar wehtut, hat seinen Ursprung im Gehirn, diesem kleinen Tyrannen. Es dient dazu, dass dieser große Körper Mensch, den das Gehirn nun mal zum Überleben braucht, auch das tut, was ihm, dem Gehirn, am besten bekommt. Gott-sei-Dank, ist dieses Beste für das Gehirn auch meist das Beste für den Körper. Leider mag das Gehirn mitunter auch den Rausch, den Alkohol und andere Drogen erzeugen.

Wenn also alles, was wir mit unseren Sinnen erfassen, vom Gehirn bearbeitet und umgedeutet wird, was ist dann wirklich da draußen, außerhalb unseres Kopfes? Dazu sollten wir uns noch einmal anschauen, was die Sinnesorgane tatsächlich registrieren, bevor ihre Informationen vom Gehirn in Wahrnehmungen umgewandelt werden. Licht und Farben, wie auch die wohltuende Wärme der Sonne sind Wahrnehmungen ihrer Strahlung, die ihre Energie aus der Bewegung der Photonen bezieht. Die Haut misst die Wärme der Luft, indem sie deren Energiegehalt mit dem eigenen abgleicht. Das Hören ist die Wahrnehmung von Bewegungen der Luft, die ebenfalls Ausdruck

ihres Energiegehalts sind. Im Gegensatz dazu basieren das Schmecken und das Riechen auf dem Erkennen von stofflichen Strukturen, denn die Moleküle, die sich an diese Sinneszellen anlagern, haben einen für den jeweiligen Stoff charakteristischen Aufbau. Das Sehen besteht aber nicht nur im Erkennen von hell und dunkel und von Farben, wir sehen auch Flächen, Linien, Formen und andere räumliche Strukturen sowie Bewegungen in diesen. Außerdem gibt es noch das Druckempfinden der Haut, mit dem wir einwirkende Kräfte wahrnehmen, sowie den Gleichgewichtssinn und das Erkennen von oben und unten, die beide auf das Wirken der Schwerkraft zurückgehen.

Wenn wir zusammenfassen, dann registrieren unsere Sinne

- die Strahlung der Sonne, deren Wirkung aus der *Bewegung* der Photonen resultiert
- den Energiegehalt der Luft, der sich in der *Bewegungsintensität* ihrer Bestandteile widerspiegelt
- mikroskopisch kleine *Strukturen*, bestehend aus Atomen und Molekülen
- Räume, die durch Flächen, Linien, Formen, Abstände und andere *Strukturelemente* bestimmt sind
- *Bewegungen* in diesen Räumen sowie
- *Kräfte*, die auf uns und alles, was uns umgibt, wirken.

Das, was außerhalb unseres Kopfes existiert, besteht also summa summarum aus

Bewegungen, Strukturen und Kräfte.

Und sonst? Nichts weiter!

2. Nachsinnliches

Sprache, Schrift, Wissen und Glaube

Alles, was wir über die Umwelt wissen, haben wir gesehen, gehört, gerochen, geschmeckt, ertastet oder sonst wie über unsere Sinne erfahren. Diese Beobachtungen und Erfahrungen sind ein Schatz, aus dem wir schöpfen, um uns in der Welt zurechtzufinden. Wir können diesen Schatz immens vergrößern, wenn wir uns mit anderen über unsere Beobachtungen und Erfahrungen austauschen. Ein solcher Austausch spielte bereits bei unseren urzeitlichen Vorfahren eine wichtige Rolle. Sie warnten sich gegenseitig vor Gefahren und sie machten sich auf Nahrung oder Wasser aufmerksam. Sie gingen gemeinsam auf die Jagd und sie mussten ihr Zusammenleben organisieren, was ebenfalls eine Verständigung untereinander notwendig machte. Zur Verständigung setzten sie Gebärden und Laute ein. Irgendwann reichten die zur Verfügung stehenden Laute nicht mehr aus, um alle wichtigen Sachverhalte oder Dinge unverwechselbar zu bezeichnen. Deshalb gingen sie dazu über, mehrere Laute miteinander zu verbinden, wodurch neue Möglichkeiten für Bezeichnungen entstanden. Mit der Zeit wurden die Lautverbindungen zu Wörtern, erst zu einfachen, später zu solchen, die aus mehreren Lautverbindungen zusammengesetzt waren. Eine Sprache entstand. Zumindest könnte es so gewesen sein, klar ist jedoch, dass es immer Wahrnehmungen über die Umwelt, über Artgenossen oder eigene Befindlichkeit waren, zu denen sich die Menschen verständigten. Diese Wahrnehmungen prägten die Wörter und damit die Sprache.

Die Vielfalt der möglichen Sinneswahrnehmungen ist gewaltig. Man denke nur an die 10.000 Düfte, die wir zu unterscheiden

vermögen. Wollte man all diese Eindrücke mit eigenen Wörtern beschreiben, würde dies wahrscheinlich unsere intellektuellen Möglichkeiten überfordern. Nicht alle Wahrnehmungen sind jedoch gleichermaßen wichtig. Der Geruchssinn hat für die Menschen beispielsweise nicht die gleiche Bedeutung wie für andere Säugetiere, weshalb es auch nicht erforderlich ist, für alle Düfte Bezeichnungen zu bilden. Außerdem kann man Dinge oder Sachverhalte, die in wesentlichen Punkten übereinstimmen, in einem Wort zusammenfassen. Ein Teller ist ein Teller, egal ob er aus Holz gefertigt wurde oder aus Keramik, aus Metall oder Knochen, egal welche Größe er hat, welche Farbe oder Form. Meist reicht die Bezeichnung "Teller" aus, um den Gegenstand, der gemeint ist, hinreichend zu benennen. Ist eine genauere Bezeichnung erforderlich, dann können konkretisierende Wörter hinzugefügt werden. Will man Ereignisse oder Sachverhalte schildern, müssen ebenfalls mehrere Wörter aneinandergereiht werden. Die Kombination der Wörter folgt dabei allgemein akzeptierten Regeln, die wir Grammatik nennen. Für die Herausbildung der Sprache, des Sprechens und Verstehens, waren aber auch Anpassungen des Sprechapparats und des Gehörs erforderlich. Diese Anpassungen gingen in das Erbgut der Menschen ein.

Die Sprache selbst wird nicht vererbt, das heißt, jedes Kind muss sie erlernen. Eine Vererbung kam schon deshalb nicht in Frage, weil die Sprache sich immer aufs Neue den unterschiedlichen und sich zudem ständig verändernden Lebensbedingungen anpassen muss. Ihre Dynamik führte dazu, dass sich in den mehr oder weniger isoliert voneinander lebenden Gemeinschaften der Menschen unterschiedliche Sprachen und Dialekte herausbildeten. Doch die Sprache ist etwas Flüchtliges. Wollte man Erfahrungen über Erscheinungen in der Natur, zum

Verhalten der Tiere oder über Taktiken der Jagd für die folgenden Generationen bewahren, mussten sie immer wieder neu erzählt werden.

Als die Menschen nicht mehr umherzogen, sondern Siedlungen errichteten und sich Ackerbau und Viehzucht widmeten, veränderte sich vieles. Nach und nach blühte das Handwerk auf, dessen Erzeugnisse bald den Weg auf fremde Märkte fanden. Ein wirtschaftlicher Austausch, teilweise über große Entfernungen hinweg, entwickelte sich. Mit ihm entstand das Bedürfnis, gegenseitige Verpflichtungen nachprüfbar festzuhalten, das heißt zu dokumentieren. Außerdem war es manchmal erforderlich, Partnern Nachrichten zukommen zu lassen, die man nur ungen Dritten für eine mündliche Überlieferung anvertraute. Als Alternative konnte man Gegenstände oder Zeichnungen übersenden, die eine Nachricht symbolisierten. Das setzte jedoch voraus, dass der Empfänger die Symbole zu deuten wusste, das heißt, die Partner mussten vorab verabreden, was mit den jeweiligen Gegenständen oder Zeichnungen ausgedrückt werden sollte. Das war umständlich. Deutlich mehr Möglichkeiten eröffneten sich, als man dazu übergang, die Sprache selbst in allgemein akzeptierten Bildern oder Zeichen wiederzugeben. Dazu mussten den Wörtern einzelne Bilder verbindlich zugeordnet werden, wodurch Bilderschriften, wie die Hieroglyphen der alten Ägypter, entstanden.

Die Bilderschriften hatten den Nachteil, dass die einzelnen Bilder oder Symbole die Dinge und Sachverhalte nur grob differenzierten. Das Leben gewann aber ständig an Vielfalt, so dass, um Missverständnisse zu vermeiden, immer neue Bilder benötigt wurden. Immer mehr Bilder machten die Schrift jedoch kompliziert und damit weniger alltagstauglich. Zur Auflösung dieses Dilemmas ging man dazu über, nicht mehr alles und jedes

mit einem speziellen Symbol zu versehen, sondern nur einfachen Wörtern und wiederkehrenden Lautverbindungen, die Teile von Wörtern geworden waren, Symbole zuzuordnen. Die Symbole dieser Lautverbindungen konnten zu komplizierteren Wörtern zusammengesetzt werden. Eine solche Entwicklung lässt sich bei den Sumerern oder auch im alten Ägypten nachweisen. Später ging man noch einen Schritt weiter und ordnete die Schriftzeichen nicht mehr den Lautverbindungen, sondern den einzelnen Lauten zu, aus denen dann Silben und Wörter zusammengesetzt werden konnten. Auf diese Weise entstand eine phonetische Schrift, die mit relativ wenigen Zeichen praktisch jeden Sachverhalt darstellen kann.

Alle Zeichen und Symbole, genauso wie die Sprache, beinhalten Abstraktionen. Die Fähigkeit zur Abstraktion half den Menschen auch, allgemeine Zusammenhänge in der Natur oder in den Gesellschaften, in denen sie lebten, zu erkennen. Im Unterschied zu den Erfahrungen, die meist einen individuellen Bezug besitzen, in jedem Fall aber eine spezielle Aufgabe oder Situation betreffen, war das durch die Abstraktion entstehende Wissen auf unterschiedliche Gegebenheiten anwendbar. Hinzu kam, dass das Wissen in Bereiche vorstoßen konnte, die der direkten Wahrnehmung verborgen blieben. Dieses Wissen wurde, wie auch die Erfahrungen, zu einem Schatz der Menschen, der wohl behütet von Generation zu Generation weitergegeben werden musste. Seine Pflege, Mehrung und Weitergabe übertrug man oft speziell dafür ausgebildeten Personen.

Trotz aller Fortschritte blieb vieles unerklärlich, manches wohl auch bedrohlich. Dort, wo Beobachtungen keine Erkenntnisse lieferten, nahmen die Menschen Erfahrungen aus anderen Lebensbereichen zur Hilfe, um sich die Welt zu erklären. Anfangs, als die Menschen gerade begannen, sich die Natur nutzbar zu

machen, entstand die Vorstellung, dass nicht nur sie selbst, sondern auch die Pflanzen und Tiere handelnde Subjekte seien. Wie sie selbst, würden auch diese sicher einen Anführer haben, den man sich mit Bitten und Gaben gewogen halten wollte. Darüber hinaus schien es ihnen nur folgerichtig, dass auch jene Erscheinungen in der Natur, die man sich nicht recht erklären konnte, das Werk von Subjekten seien. Da man diese nicht sehen konnte, waren sie wohl weder Mensch noch Tier, sondern etwas anderes, Götter eben. Wie sollte man mit Göttern umgehen? Verehrung, gutes Zureden und kleine Geschenke würden sicher auch bei ihnen für Wohlwollen sorgen. Der Einzelne tat das nicht für sich allein, sondern er tauschte sich mit anderen dazu aus, so dass sich nach und nach eine gemeinsame Vorstellung von der Natur und ihren Göttern herausbildete. In dieser Zeit stand für die Menschen jedoch noch außer Frage, dass sie selbst Teil dieser Natur seien. Folglich existierten auch die Götter nicht außerhalb ihrer Lebenswelt, sie waren vielmehr in einer mystischen Beziehung mit ihr verwoben.

Im Laufe der Zeit lernten die Menschen immer besser, sich die Natur nutzbar zu machen oder gegebenenfalls sich ihrer zu erwehren. Viele Erscheinungen, die ehemals furchterregend waren, flößten ihnen nun keine Angst mehr ein. Ihr Selbstvertrauen wuchs, so dass Pflanzen und Tiere mehr und mehr von Partnern zu Objekten ihres Tuns wurden. Es war auch ganz praktisch, wenn nicht hinter jedem Baum, den man fällen wollte, oder hinter jedem Tier, das gejagt werden sollte, Götter zu vermuten waren, die erst besänftigt werden mussten, bevor man zur Tat schreiten konnte. Den Menschen schien es jetzt, dass ihnen die Erde mit den Pflanzen und Tieren darauf als Lebensraum gegeben sei, den sie zu eigenem Nutz und Frommen gebrauchen können. Allerdings gab es da immer noch eine Reihe

von Erscheinungen, deren Ursachen sie nicht verstanden, die wohl doch das Werk von Göttern waren. Es waren aber nicht nur Erklärungen zum Platz der Menschen in der Natur gefragt, auch das Zusammenleben der Menschen warf zunehmend Fragen auf. Es waren große soziale Unterschiede entstanden, doch waren sie rechters? In den alten Hochkulturen war es meist Aufgabe der Priester, Antworten auf diese Fragen zu geben. Die Antworten, die sie fanden, gingen in ihre Lehren ein. Diese waren damit nicht mehr nur Mythos als Reflex auf Unwissen, sondern auch Sammelbecken des in ihrer Zeit vorhandenen Wissens über die Natur, die Menschen und die Gesellschaft, in der sie lebten. Außerdem hatten sich ethische und moralische Normen des Zusammenlebens herausgebildet, die ebenfalls Bestandteil der Lehren wurden. Die auf diese Weise entstehenden Religionen nahmen in den verschiedenen Zeiten und Weltengegenden unterschiedliche Gestalt an.

Messen und Vergleichen

Im zweiten Teil findet sich der Abschnitt „Objektive Realität und subjektive Wahrnehmung“, wo weitere Aspekte der Wahrnehmungen, wie auch des Messens und Vergleichens, beleuchtet werden.

Die gesammelten und weitergegebenen Erfahrungen halfen den Menschen, sich in einer oft feindlichen Umwelt besser zu behaupten. Aber nicht jede Erfahrung ist immer und überall gleichermaßen hilfreich. Um zu verstehen, wann welche Erfahrung sinnvoll genutzt werden kann, müssen die Bedingungen ihrer Anwendung miteinander verglichen werden. Vergleiche helfen nicht nur bei der Beurteilung von Erfahrungen, sie können dem Leben insgesamt eine gewisse Ordnung verleihen. Man veranstaltete Wettkämpfe, um zu klären, wer der

schnellste Läufer ist, wer am weitesten springen oder werfen kann. Heute dienen solche Wettkämpfe meist der Unterhaltung, für unsere Vorfahren mag das Kräfteressen darüber hinaus wichtiger Teil des Zusammenlebens gewesen sein, da sich mit ihm eine Rangordnung herausbilden konnte. Man kann aber nicht nur Leistungen miteinander vergleichen, auch Dinge können mit Hilfe von Vergleichen geordnet werden. Hinsichtlich der Größe der Dinge kann dies nach Augenschein erfolgen. Schwierig wird es, wenn die Dinge nicht nebeneinandergestellt werden können, weil sie zu groß oder zu schwer für einen Transport sind. Man kann jedoch einen Stab benutzen, mit dessen Hilfe sie sich vergleichen respektive messen lassen. Das mit dem Messen sollten wir uns etwas genauer anschauen.

Dort steht ein Tisch, dem eine neue Decke guttun würde. Damit ich eine Decke in passender Größe kaufen kann, muss ich die Länge des Tisches ermitteln. Dazu nehme ich einen Gliedermaßstab - welch ein hässliches Wort. Mein Opa hat noch Zollstock gesagt, was zwar inhaltlich nicht zutrifft, weil bei uns Längen nicht mehr in Zoll gemessen werden, trotzdem ist dieses Wort griffiger. Ans Werk! Ich klappe den Zollstock auseinander, lege ihn an die Tischkante an und lese auf dem Zollstock die Länge ab - 1,20 m. Die Tischkante ist 1,20 Meter lang. Das war einfach. Manchmal lohnt es sich, über das scheinbar einfache noch einmal nachzudenken. Was habe ich beim Vermessen der Tischkante getan? Ich habe den Zollstock auf den Tisch gelegt und dessen Länge an dem auf dem Zollstock aufgezeichneten Maßstab abgelesen. Woher kommt dieser Maßstab? Es waren die Franzosen, die in den Jahren nach der Revolution von 1789 nicht nur das Herrschaftssystem umkrempelten, sondern auch das System der Maße und Gewichte. Es sollte auf Dezimalbasis vereinheitlicht werden und eine wissenschaftliche Grundlage

erhalten. In diesem Zusammenhang wurde der Meter als einheitliches Längenmaß eingeführt. Die Länge eines Meters berechnete man auf der Basis bekannter geophysikalischer Größen. Der Vorteil dieses Herangehens war, dass die gewählten Parameter hohe Beständigkeit aufwiesen, so dass die zugrunde gelegte Berechnung jederzeit nachvollzogen werden konnte. Trotzdem war die Auswahl der für die Berechnung genutzten Größen willkürlich, man hätte auch andere Werte zugrunde legen können, dann hätte der Meter halt eine andere Länge gehabt.

Die für den Meter berechnete Länge vergegenständlichte man in einem Metallstück, das als „Urmeter“ fortan Bezugsobjekt aller metrischen Messungen sein sollte. Den Meter kann man in zehn, hundert oder mehr gleiche Teile untergliedern, so dass jede beliebige Genauigkeit darstellbar ist. Es ist natürlich auch möglich, den Meter zu vervielfachen, um auf diese Weise einen Kilometer zu erhalten. Der gewonnene Maßstab kann auf Messmedien, wie einen Zollstock, aufgetragen werden, so dass ein Messwerkzeug als Bezugsobjekt für unsere Messungen entsteht. Wenn man einen Zollstock auf den Tisch legt und die Länge der Tischkante am Maßstab abliest, dann vergleicht man im Kern also die Länge der Tischkante mit der Länge des Urmeters. Bei meiner Messung habe ich demnach festgestellt, dass der Tisch 20 Hundertstel länger als der Urmeter ist. Das heißt aber auch, ich habe keinen absoluten Wert für die Länge des Tisches ermittelt, sondern einen relativen Wert im Vergleich zum Urmeter. Der ermittelte Wert hilft mir trotzdem weiter, da auch die Länge der Tischdecke in Meter angegeben wird.

Für eine Messung braucht man also ein Messwerkzeug mit einem Maßstab. In unserem Fall war der Maßstab der Urmeter mit seiner dezimalen Unterteilung, das Messwerkzeug war der Zollstock.

Mit dem Namen Zollstock verbindet sich das Wissen, dass auch andere Maßstäbe der Längenmessung möglich sind. In früheren Zeiten waren viele unterschiedliche Maße gebräuchlich, was den Warenverkehr behinderte und Missverständnissen Vorschub leistete. Die Vereinheitlichung der Maßsysteme kann daher als epochale Errungenschaft angesehen werden, ohne die es den späteren Siegeszug der Industrie kaum gegeben hätte. Im internationalen Vergleich finden wir allerdings nach wie vor verschiedene Maßsysteme, was in meinen Augen wie aus der Zeit gefallen wirkt. Als Messwerkzeuge sind ebenfalls ganz unterschiedliche Instrumente in Gebrauch. Das hat einen guten Grund, da für die verschiedenen Zwecke unterschiedliche Eigenschaften der Messgeräte wichtig sind. Letztendlich ist es aber egal, ob man ein Lineal, einen Zollstock oder ein Bandmaß benutzt, ob man die Lasermessung oder ein Echolot einsetzt, in jedem Fall wird bei einer Längenmessung ein Vergleichswert zum gewählten Maßstab, in unserem Fall zum Urmeter, ermittelt.

Eine Voraussetzung für den Vergleich von Messergebnissen ist, dass jeweils der gleiche Maßstab verwendet wurde. Setzt man unterschiedliche Maßstäbe ein, zum Beispiel einmal Meter und dann wieder Zoll, muss man umrechnen, um eine Vergleichbarkeit herzustellen. Umrechnungen sind meist nicht bis auf die letzte Kommastelle genau, darüber hinaus weisen die Messmethoden wie auch die Messinstrumente oft unterschiedliche Genauigkeiten auf, so dass die Vergleichbarkeit der Ergebnisse eingeschränkt ist. Ungenauigkeiten können auch durch Abweichungen unseres Maßstabs vom Urmeter entstehen. Selbst das Vergleichsstück, der metallische Urmeter, ist Einflüssen und damit Schwankungen ausgesetzt. Um diese gering zu halten, wurde es aus einem sehr stabilen Material, einer Legierung aus Platin und Iridium, hergestellt. Es wird bei exakt 0 Grad Celsius

gelagert, denn die Temperatur hat bekanntlich Einfluss auf die Längenausdehnung des Materials. Für die Genauigkeit eines Messvorgangs wäre es demnach wichtig, dass dieser bei exakt 0° Celsius stattfindet. Mit einem Seufzer der Erleichterung können wir konstatieren, dass in der Praxis meist keine vergleichbar hohen Anforderungen an die Genauigkeit des Messvorgangs gestellt werden. Im Alltag sind die Genauigkeit des Zollstocks und die Messung bei Zimmertemperatur meist völlig ausreichend. Trotzdem bleibt festzuhalten, dass alle drei Faktoren, der Maßstab, das Messverfahren samt Messinstrument und die äußeren Bedingungen des Messens, Quellen von Ungenauigkeiten sein können. Hinzu kommt, dass nichts auf dieser Welt so bleibt, wie es ist. Das heißt, ganz egal, was man auch anstellt, es werden sich während einer Messreihe immer Veränderungen ergeben, die die Genauigkeit der Ergebnisse, mithin ihre Vergleichbarkeit begrenzen. Messungen können *niemals* absolut genau sein, sie haben immer eine relative Genauigkeit, was unproblematisch ist, solange der Zweck der Messung erreicht wird. Trotzdem existiert eine absolute Größe der zu messenden Eigenschaft, sonst könnten wir uns ihr nicht durch den Einsatz besserer Messmethoden annähern.

Was kann man außer der Länge eines Tisches noch messen? Man könnte sein Gewicht ermitteln. Die in der Französischen Revolution entstandene Nationalversammlung legte auch für die Gewichte einen allgemeingültigen Maßstab fest. Ein Urkilogramm wurde definiert und als Platin-Iridium-Zylinder verewigt. Wenn wir heute ein Gewicht ermitteln, zum Beispiel mit Hilfe einer Waage, dann bestimmen wir einen Vergleichswert zu diesem Urkilogramm. Man kann auch Temperaturen messen. Ausgangspunkt für die Entwicklung entsprechender Messverfahren war die Beobachtung, dass sich Körper, die

erwärmt werden, ausdehnen, und dies proportional zum Grad der Erwärmung. Für die Konstruktion von Messwerkzeugen verwendete man Flüssigkeiten, da sich diese in dünne Röhren bannen ließen, die ein einfaches Ablesen der Ausdehnung ermöglichten. Celsius setzte für sein Messinstrument Wasser ein. Für den Maßstab nutzte er dessen Siede- beziehungsweise Gefrierpunkt bei einem Luftdruck von 760 Torr. Auf eine Skala übertragen gab er den erhaltenen Punkten die Werte 100 und 0, den Zwischenraum unterteilte er in einhundert gleichmäßige Schritte, Grade genannt. Diese Skala konnte nun über die Fixpunkte hinaus nach oben und unten verlängert werden, so dass eine Skala entstand, mit deren Hilfe man die Temperaturen verschiedener Stoffe bestimmen konnte. Richtiger sollte man sagen, die Temperaturen der Stoffe konnten nun verglichen werden, da sie mit demselben Maßstab bestimmt wurden. Durch den Vergleich erhielt man eine Vorstellung von der unterschiedlichen Temperatur der Dinge. Dass eine Temperatur immer relativ, in Bezug auf einen Maßstab bestimmt wird, ändert nichts daran, dass sie eine tatsächliche Eigenschaft der Stoffe, nämlich ihren Energiegehalt, ausdrückt.

In der Geschichte entstanden verschiedene Maßstäbe für die Messung der Temperatur. Fahrenheit verwendete ein Quecksilberthermometer. Als Nullpunkt legte er eine Temperatur fest, die er bei einer Mischung aus Schnee und Salmiakgeist bestimmt hatte. Er nahm an, dass dies die tiefste in der Natur vorkommende Temperatur sei. Als zweiten Fixpunkt nutzte er die normale Körpertemperatur des Menschen. Den Zwischenraum zwischen diesen beiden Punkten unterteilte er in 96 Einheiten. Réaumur wiederum verwendete wenige Jahre später ein mit Alkohol gefülltes Thermometer, dessen Gefrier- und Siedepunkt seine Fixpunkte wurden. Den Zwischenraum unterteilte er in 64

Punkte. In Europa hat sich die Skala nach Celsius weitgehend durchgesetzt, während in den USA die Temperatur meist nach der von Fahrenheit angegeben wird. Celsius hatte übrigens ursprünglich den Gefrierpunkt des Wassers mit 100^0 und den Siedepunkt mit 0^0 festgelegt, erst Linné drehte die Skala um und erhielt die noch heute gebräuchliche Einteilung. Aus dieser Geschichte sieht man, dass die Auswahl des Messmediums und die Ableitung eines Maßstabs recht willkürlich erfolgen kann. Selbst der Fakt, dass die Annahme Fahrenheits hinsichtlich der niedrigsten in der Natur vorkommenden Temperatur falsch war, verhinderte nicht, dass seine Temperaturskala bis heute Verwendung findet. Es ist demnach völlig gleich, wie die Fixpunkte einer Skala bestimmt werden, die Qualität eines allgemeingültigen Maßes erhalten sie nicht durch deren Begründung, sondern durch die Akzeptanz in der Gesellschaft. Aus dem gleichen Grund können sich die Messinstrumente auch von den ursprünglichen Messmedien, bei Celsius dem Wasser, entfernen. Heute werden ganz unterschiedliche Medien beziehungsweise Methoden zur Messung der Temperatur herangezogen, deren Resultate trotzdem in Grad Celsius angegeben werden.

Die Maßstäbe, mit denen Messungen quantifiziert werden, sind so vielfältig wie die Eigenschaften der Stoffe, für deren Bestimmung sie Einsatz finden. Für alle gilt das oben gesagte in ähnlicher Weise. Was wir uns unbedingt noch genauer anschauen müssen, ist die Bestimmung der Geschwindigkeit von Bewegungen. Geschwindigkeit ist definiert als Bewegung in der Zeit. Doch, was ist Zeit überhaupt? Stofflich, im eigentlichen Sinne, ist Zeit wohl nicht. Ganz allgemein könnte man vielleicht sagen, dass alles eine Zeit hat, in der es entsteht, sich verändert und wieder vergeht. Um die unterschiedlichen Zeiträume, in

denen sich diese Prozesse vollziehen, vergleichen zu können, brauchte man einen Maßstab.

Für unsere Vorfahren war es naheliegend, regelmäßig wiederkehrende Zyklen in der Natur, wie die Sonnentage, die Mondphasen oder die Jahreszeiten, als Maßstab der Zeit zu nutzen. Diese Zyklen konnten in kleinere Einheiten unterteilt werden, so dass genaue Zeitangaben möglich wurden. Der als durchschnittlich ermittelte Sonnentag wurde beispielsweise in 24 Stunden zu jeweils sechzig Minuten gegliedert. Ein voller Zyklus der Jahreszeiten, gemessen am Stand der Sonne, wurde zu einem Jahr, ein Mondzyklus zu einem Monat. Für die Zählung der Jahre brauchte man einen Punkt, mit dem sie beginnen konnte. Die Festlegung eines solchen Anfangspunktes erfolgte wiederum recht willkürlich. Im Jahr 2020 nach Christi Geburt wies zum Beispiel der jüdische Kalender das Jahr 5.781 nach Erschaffung der Welt aus, der islamische Kalender war im Jahr 1.441 nach der Ankunft von Mohamed in Medina und nach dem Französischen Revolutionskalender war das Jahr 231 nach dem Sturm auf die Bastille erreicht. Mit der Festlegung eines Anfangspunktes und eines zählbaren Zyklus, wie dem Sonnenjahr, erhielt man eine Zeitskala, die in beide Richtungen, in die Vergangenheit und die Zukunft, verlängert werden konnte. Als Verfahren zur Messung der Zeit kam jeder gleichmäßig wiederkehrende Vorgang in Betracht. So liegen dem „Ticken“ der Uhren meist mechanische Schwingungen oder atomare Bewegungszyklen zugrunde. Für die Zeitmessung gilt jedoch das gleiche, wie für alle Messungen, man kann nicht den absoluten Verlauf der Zeit bestimmen, man kann lediglich Zeitperioden miteinander vergleichen.

Das Messen von Bewegungen

Wie ist das mit den Bewegungen? Wie kann man Bewegungen messen? In der Praxis scheint das wieder recht simpel zu sein. Man misst eine Strecke aus, die eine Läuferin zurücklegen soll. Dann misst man die Zeit, die sie für die Strecke benötigt und kann daraus die Geschwindigkeit, das heißt die Anzahl der Meter, die sie in der Zeiteinheit zurücklegt, ermitteln. Diese Messung hat allerdings eine ganze Reihe von Voraussetzungen. So gehen wir davon aus, dass die Läuferin diese Strecke auf schnurgeradem Wege hinter sich bringt, das heißt, dass sie tatsächlich nur die ausgemessene Entfernung zurücklegt. Das Auf und Ab des Körpers oder die Abweichungen der Läuferin von der Ideallinie, lassen wir bei der Ermittlung der zurückgelegten Strecke außen vor. Wir berücksichtigen auch nicht, dass die Läuferin einmal schneller und dann wieder langsamer laufen könnte, wir ermitteln einen Durchschnittswert. Außerdem könnte es noch diverse Messfehler gegeben haben, zum Beispiel, weil die Strecke nicht exakt vermessen wurde oder weil der Messende die Handhabung der Stoppuhr nicht gewöhnt war. Selbst, wenn wir sagen, für unseren Zweck reicht die erhaltene Genauigkeit aus, bleibt die Frage, was unsere Messung eigentlich aussagt.

Wir haben einen Weg von einhundert Metern ausgemessen, also einhundert Mal die Länge des Urmeters. Außerdem haben wir die für den Lauf benötigte Zeit gemessen. Die Läuferin hat 14,3 Sekunden, anders gesagt 14,3 Teile des in 86.400 Sekunden untergliederten durchschnittlichen Sonnentags, für die Strecke benötigt. Diese beiden relativen Ergebnisse setzen wir ins Verhältnis und erhalten die durchschnittliche Geschwindigkeit der Läuferin. Das Ergebnis aus zwei relativen Größen kann nur wieder eine relative Größe sein. Das heißt, wir haben die relative Geschwindigkeit der Läuferin ermittelt, auch wenn der Bezug zum

Urmeter beziehungsweise zum Sonntag bereits in den Hintergrund getreten ist. Obwohl wir nur eine relative Geschwindigkeit messen, wird niemand bestreiten, dass sich die Läuferin tatsächlich bewegt hat. Mit anderen Worten, obwohl wir nur relative Geschwindigkeiten messen können, setzen diese Messungen voraus, dass sich das Zumessende, in unserem Fall die Läuferin, tatsächlich bewegt. Diese Bewegung ist *absolut* vorhanden, auch wenn wir ihre Geschwindigkeit nur als *relative* Größe ermitteln können. Das Wechselverhältnis von absoluter und relativer Bewegung müssen wir uns wohl noch etwas genauer anschauen.

Stellen Sie sich vor, Sie fahren in einem Zug. Die Fenster sind verdunkelt, so dass ein Blick nach draußen nicht möglich ist. Der Zug gleitet mit konstanter Geschwindigkeit und erschütterungsfrei dahin. Unter diesen Bedingungen ist es für Sie oder einen Mitreisenden nicht möglich, die Position des Zuges in der Landschaft oder seine Geschwindigkeit festzustellen. Für Sie befindet sich das geschlossene System Zug mit allen Dingen darin in Ruhe. Eine Bewegung wäre nur durch den Blick nach draußen erkennbar. Das heißt, die gleichmäßige Bewegung eines Systems ist nur in Bezug auf die Umgebung, also auf ein anderes System wahrnehmbar und damit messbar. Eigentlich ist dies gar nicht verwunderlich, denn für jede Messung gilt, dass sie nicht nur einen gleichbleibenden Maßstab und ein genaues Messverfahren erfordert, sondern, dass auch das Bezugssystem und die Bedingungen des Messens während der gesamten Messreihe gleichbleiben müssen. Für den Zug als Ganzes ist dieser Bezug die Landschaft, in der er sich bewegt, für die Reisenden im Zug ist es dessen Inneres, an dem sich jede Bewegung misst.

Stellen Sie sich nun vor, die Rollos, mit denen die Fenster des Zuges verdunkelt waren, werden hochgezogen und der Blick

durch die Scheiben wird möglich. Sie selbst seien zur Abwechslung nicht im Zug, Sie stehen vielmehr am Bahndamm und können für die kurze Zeit des Vorbeifahrens in das Innere des Zuges blicken. Sie sehen, wie ein Junge mit einem Tischtennisball spielt. Er lässt den Ball auf einen Tisch fallen, von dem dieser sehr gerade nach oben springt. So sieht es zumindest der Junge im Zug. Am Bahndamm stehend sehen Sie jedoch, dass sich der Zug bewegt, und mit ihm der Tisch und der Tischtennisball. In Ihrem Bezugssystem der offenen Landschaft ist augenscheinlich, dass sich der Tischtennisball bei jedem Hochspringen vom Tisch an einem anderen Ort in dieser Landschaft befindet. Man könnte fragen, wer hat nun recht mit seiner Beobachtung - Sie, der Sie am Bahndamm stehen und sehen, dass sich der Tischtennisball bei jeder Bewegung an einem anderen Punkt in der Landschaft befindet, oder der Junge im Zug, für den der Ball immer an derselben Stelle hochspringt. Offensichtlich haben beide recht - der Junge, der keinen Blick nach draußen wirft, weil er mit seinem Tischtennisball beschäftigt ist, und Sie, der sie am Bahndamm stehen und den Zug, den Jungen und den Tischtennisball an sich vorbeifahren sehen.

Der Vater des Jungen, der sich ebenfalls im Zug befindet, sieht, als er seinen Blick kreisen lässt, sowohl den Jungen, der mit seinem Tischtennisball spielt, als auch einen einsamen Spaziergänger am Bahndamm. Ihm mögen die gleichen Gedanken durch den Kopf gehen wie uns. Er fragt sich, was passieren würde, wenn nach einiger Zeit die Rollos des Zugabteils wieder heruntergelassen würden. Wieder wäre im Zug nicht feststellbar, ob und mit welcher Geschwindigkeit sich dieser bewegt. Müsste der Vater nun vergessen, was er vorher beobachtet hatte, weil er es jetzt nicht mehr wahrnehmen kann? Anders ausgedrückt, ist nur das aus Wahrnehmung respektive Messung entstandene Wissen des

Beobachters „Wahrheit“ oder gibt es unabhängig von dieser Wahrheit noch eine andere Wahrheit, die nicht minder richtig ist, auch wenn sie unter den gegebenen Bedingungen nicht gemessen werden kann?

Obwohl der Reisende im gleichförmig dahingleitenden Zug ohne den Blick nach draußen dessen Bewegung nicht wahrnehmen kann, so ist diese Bewegung doch vorhanden, wie der Beobachter am Bahndamm bezeugen wird. Damit nicht genug, denn der Zug bewegt sich nicht nur auf den Schienen durch die Landschaft, er nimmt auch an der Bewegung der Erde um ihre eigene Achse teil. Mit der Erde bewegt er sich um die Sonne, mit dem Sonnensystem um den Kern der Galaxis. Auch die Dinge im Inneren des Zuges sind nicht so bewegungslos, wie sie scheinen, denn ihre Bausteine, das heißt, Moleküle, Atome und deren Bestandteile, führen ein eigenes bewegtes „Leben“. Alles ist in Bewegung, *panta rhei*, wie die alten Griechen meinten. Obwohl sich ein Objekt in einem bestimmten Bezugssystem in Ruhe befindet, wird man in einem anderen Bezugssystem hinsichtlich desselben Objekts Bewegung registrieren. Das heißt, wir „wissen“, dass auch dann, wenn wir keine Bewegung messen können, eine Bewegung vorhanden ist. Diese Bewegung kann in mindestens einem Bezugssystem beobachtet beziehungsweise gemessen werden. Wenn man das Bezugssystem, in dem die Messung möglich war, verlässt, dann verschwindet die eben noch gemessene Bewegung nicht, auch wenn sie nun nicht mehr gemessen werden kann. Mit anderen Worten, jede konkrete im gegebenen Bezugssystem messbare, mithin relative Bewegung, kann in einem anderen Bezugssystem zur nur noch absoluten, das heißt, objektiv zwar vorhandenen aber nicht mehr messbaren Bewegung werden.

Zum besseren Verständnis des Zusammenwirkens von absoluter und relativer Bewegung wollen wir uns noch ein weiteres Beispiel ansehen. Stellen Sie sich eine Autoverfolgungsjagd vor, wie sie mitunter in Kriminalfilmen zu sehen ist. Es kommt zu der Szene, da Räuber und Gendarm mit ihren Autos auf gleicher Höhe fahren. Die Geschwindigkeit der Autos sei 100 Kilometer in der Stunde. Trotzdem wird der Superheld vom Dach des einen Autos auf das Dach des anderen Autos springen. Das ist möglich, weil die relative Geschwindigkeit der beiden Autos zueinander annähernd Null ist. Das heißt, im Bezugssystem der beiden gleichmäßig dahin rasenden Autos herrscht relative Ruhe, in dem Sinne, dass sich die Autos nicht voneinander entfernen. Trotzdem rasen sie mit 100 km/h die Straße entlang, was unserem Helden spätestens dann schmerzhaft bewusst werden wird, sollte der Sprung misslingen und er nicht auf dem anderen Auto, sondern im Straßengraben landen. Die Bewegung ein und desselben Autos erlangt also in Abhängigkeit vom betrachteten Bezugssystem (Straßengraben oder zweites Auto) eine unterschiedliche physikalische Bedeutung.

Das ist noch nicht alles. Bevor die Autos im Rahmen der Verfolgungsjagd auf gleicher Höhe fahren, war es nämlich zu einer Schießerei gekommen. Sagen wir der Einfachheit halber, beide Autos hatten zu diesem Zeitpunkt ebenfalls eine konstante Geschwindigkeit von 100 km/h. Die Frage ist, welche Auswirkungen die Geschwindigkeit der Autos auf die Geschwindigkeit der Pistolenkugeln hat. Müssen wir die 100 km/h der Autos zur Geschwindigkeit der Kugeln hinzuaddieren? In unserem Beispiel rasen die Autos zwar mit 100 km/h die Straße entlang, ihr Abstand zueinander verändert sich jedoch nicht. Insofern bewegen sich die Kugeln in einem „ruhenden“ System. Ihre Geschwindigkeit und damit die Aufprallenergie auf den

anderen Wagen ist die gleiche, als wenn die Autos irgendwo, gleichen Abstand zueinander vorausgesetzt, auf einem Parkplatz stünden. Anders sieht es aus, wenn die Kugel des Verfolgers ihr Ziel verfehlt und in ein am Straßenrand parkendes Auto einschlägt. In diesem Fall befinden sich die beteiligten Autos nicht in relativer Ruhe zueinander, das verfolgende Polizeiauto und das parkende Auto bewegen sich vielmehr, objektiv gesehen, aufeinander zu. Zur „normalen“ Geschwindigkeit der Kugel kommt die relative Geschwindigkeit, mit der sich die beiden Autos einander annähern, hinzu. Die Aufprallenergie der Kugel erhöht sich um den aus der Bewegung des Autos resultierenden Betrag. Wiederum erlangt ein und dieselbe Bewegung eine andere physikalische Bedeutung, sobald das betrachtete Bezugssystem wechselt. Es könnte aber auch sein, dass das fälschlicherweise getroffene Auto nicht am Straßenrand parkte, sondern dem Schützen entgegenkam. Dann ist neben der Geschwindigkeit des Polizeiautos auch die Geschwindigkeit des entgegenkommenden Autos bei der Bestimmung der Aufprallenergie der Kugel zu berücksichtigen.

Auf der anderen Seite erhält die Kugel ihre Bewegung durch den Impuls, der von der Waffe ausgeht. Dieser Impuls verändert sich in den verschiedenen Situationen nicht. Das heißt, die Geschwindigkeit, mit der sich die Kugel von der Waffe entfernt, wird durch die Geschwindigkeit des Autos nicht beeinflusst. In diesem Sinne ist sie absolut. Soll die Geschwindigkeit, mit der sich die Kugel von der Waffe wegbewegt, gemessen werden, dann müsste sich der Messende *innerhalb* des betrachteten Bezugssystems und dort in *relativer Ruhe* zum Gegenstand der Messung befinden. Das heißt, er muss sich mit der gleichen Geschwindigkeit und in dieselbe Richtung wie unser Schütze bewegen. Messungen, die von einem parkenden oder einem

entgegenkommenden Auto vorgenommen werden, sind immer durch die relative Bewegung zwischen dem Messenden und dem Gemessenen beeinflusst. Würde man trotzdem eine Messung von außen, das heißt von außerhalb des Bezugssystems, versuchen, müssten die zusätzlichen Faktoren, die nun die Messung beeinflussen, separat bestimmt werden.

Über das Messen von Massen

Wie ist das mit den Massen, die kann man doch sicher eindeutig bestimmen, oder? Wieder scheint es recht einfach zu sein. Es gibt einen gültigen Maßstab, das Urkilogramm. Als Messinstrument nutzt man eine Waage. Waagen gibt es in verschiedenen Ausführungen. Eine sehr einfache Variante ist die Balkenwaage. Das zu wiegende Objekt wird in die eine Schale gelegt, in die andere Schale legt man Wägestücke, solange bis die Waage ausbalanciert. Die Gewichte der Wägestücke waren vorher mit Bezug auf das Urkilogramm bestimmt worden. Nun kann man die Gewichte der Wägestücke zusammenzählen und erhält das Gewicht des zu bestimmenden Objekts. Dabei wird augenscheinlich, dass das Messen ein Vergleichen ist, im konkreten Fall das Vergleichen des zu wiegenden Objekts mit dem Gewicht der Wägestücke.

Wer in Physik aufgepasst hat, wird vielleicht einwenden, dass Masse und Gewicht nicht dasselbe sind. Für die alltäglichen Messungen auf Erden kann der Unterschied zwischen Masse und Gewicht meist vernachlässigt werden, ansonsten hat diese Unterscheidung natürlich einen ernstzunehmenden Hintergrund. Das Gewicht wird der Masse durch die Schwerkraft verliehen, die selbst auf der Erde nicht überall völlig gleich ist. Größere Unterschiede würden wir im Vergleich zum Mond feststellen. Wäre dort unser Kilogramm weniger schwer, da doch die

Schwerkraft geringer ist? Zur Ermittlung eines eventuellen Gewichtsunterschieds würde die Balkenwaage allerdings nicht weiterhelfen, da die Wägestücke ebenfalls an Gewicht verloren hätten. Was für ein Dilemma! Im Bezugssystem Mond entspricht unser Kilogramm wieder einem Kilogramm an Wägestücken. Kann das richtig sein? Natürlich ist das richtig, denn messen heißt vergleichen und vergleichen können wir nur Dinge, die sich im selben Bezugssystem befinden. Unsere Messungen auf dem Mond werden daher die gleichen Relationen zwischen den Gewichten verschiedener Objekte ergeben, wie wir sie von der Erde kennen. Wir wollen aber unbedingt das Kilogramm auf der Erde mit dem Kilogramm auf dem Mond vergleichen. Da man keine Waage bauen kann, deren eine Schale auf dem Mond platziert ist und die andere auf der Erde, muss ein anderer Weg gefunden werden. Man könnte eine andere Waage, eine Federwaage zum Beispiel, zur Hand nehmen. Benutzt man den gleichen Versuchsaufbau auf der Erde und auf dem Mond, dann wird die Federwaage auf dem Mond für das zu messende Objekt einen geringeren Wert anzeigen als auf der Erde. Na also, geht doch! Nur, was haben wir eigentlich verglichen? Wir haben die Schwerkraft auf der Erde mit der Schwerkraft auf dem Mond verglichen und nicht die Gewichte zweier Objekte, deren Messung ein gleichbleibendes Bezugssystem verlangen würde.

Bisher haben wir Massen anhand ihrer Gewichte unterschieden. Was machen wir aber, wenn Massen an Orten verglichen werden sollen, wo, wie im Weltraum, keine Gravitationskräfte wirken? Die Balkenwaage würde uns nicht weiterhelfen, die Wägestücke flögen einfach davon. Eine Federwaage wäre ohne Gravitationskraft, mithin ohne Gewicht der Massestücke, ebenfalls nicht von Nutzen. Eine Größe hätten wir noch, die auf Massen auch ohne Gravitationskraft Einfluss nehmen kann -

Energie. Wirkt Energie auf eine Masse, dann wird sie in Bewegung gesetzt, zumindest, wenn die Energiemenge groß genug ist, um die Trägheit der konkreten Masse zu überwinden. Bei gleicher eingesetzter Energiemenge werden unterschiedlich große Massen unterschiedlich beschleunigt. Damit ergibt sich eine Möglichkeit, unterschiedlich große Massen zueinander ins Verhältnis zu setzen, das heißt, sie zu messen. Experimente haben bestätigt, dass die "schwere" Masse und die "träge" Masse gleich groß sind, das heißt, die auf die eine oder die andere Weise ermittelten Relationen der Massen zueinander sind identisch. Es wäre auch verwunderlich, wenn sie je nach Art der Messung unterschiedlich ausfallen würden, denn die Unterschiede zwischen träger und schwerer Masse liegen in den Messbedingungen beziehungsweise im Messverfahren begründet und nicht in der Natur der Sache selbst. Die Messung einer schweren Masse verlangt ein Bezugssystem, in dem Gravitationskräfte auf alle zu messenden Massen in gleicher Weise wirken, ihnen in gleicher Weise "Schwere" verleihen. Die Messung einer trägen Masse setzt wiederum die Einwirkung gleicher Energiemengen auf die zu vergleichenden Massen voraus, da diese dann unterschiedlich in Bewegung gesetzt werden.

3. Strukturen, Bewegungen und Kräfte

Ausgangspunkt unserer Überlegungen waren die Sinne, mit denen wir die Welt um uns herum wahrnehmen. Die Entwicklung dieser Sinne beziehungsweise Sinnesorgane ist tief in der Evolution verankert, das heißt, man findet ähnlich ausgebildete Sinne bei vielen Lebewesen. Das Besondere der Menschen ist also weniger mit ihren Wahrnehmungen als mit der aus den Wahrnehmungen hervorgegangenen Sprache verbunden. Mit der Sprache entwickelte sich auch ihr Abstraktionsvermögen, das ihnen half, Gesetzmäßigkeiten in der Natur zu erkennen. Man konnte zum

Beispiel Dinge vergleichen und sie auf diese Weise in eine gewisse Ordnung bringen. Vergleiche waren allerdings auf äußerlich wahrnehmbare Merkmale beschränkt, doch, wie sah es in ihrem Innern aus? Wie waren die Dinge aufgebaut?

Die Ordnung der Welt

Unser Denken ist in starkem Maße durch Überlegungen und Theorien beeinflusst, die im antiken Griechenland entstanden, nicht zuletzt, weil mit ihrer Wiederentdeckung der Aufbruch Europas in die Neuzeit begonnen hatte. Die wiedergefundenen Bildnisse und Schriften wurden zur Inspiration für Künstler und zur Quelle eines neuen wissenschaftlichen Denkens. Das gilt auch für die überlieferten Vorstellungen zu den Grundbausteinen der Welt. Einige griechische Philosophen hatten zum Beispiel die Ansicht vertreten, dass alles und jedes aus kleinen Bauteilen zusammengesetzt sei, die ein Abbild des Ganzen wären. Demnach würden Steine aus kleineren Steinen bestehen und Pferde halt aus pferdchenartigen Teilen. Demokrit war vor rund 2400 Jahren einen anderen Weg gegangen. Sein Konzept brach mit den Vorstellungen, die ausschließlich auf dem basierten, was sich

wahrnehmen ließ und die die Bausteine deshalb nur als Miniaturen des Ganzen begreifen konnten. Er ging davon aus, dass die Welt aus Atomen besteht, die außer Größe, Gewicht und Form keine Eigenschaften besäßen. Das führte ihn zu der Schlussfolgerung, dass, die Dinge nur scheinbar eine Farbe haben, nur scheinbar süß oder bitter sind, denn in Wirklichkeit gibt es nur Atome im leeren Raum. Die Vielfalt der Welt entstand, so seine Überzeugung, aus unterschiedlichen Kombinationen dieser einheitlich verfassten Bausteine.

Wenn, wie Demokrit meinte, die Vielgestaltigkeit der Welt aus relativ einfachen Bausteinen entsteht, dann muss diese Vielgestaltigkeit auch eine irgendwie geartete innere Ordnung besitzen. Die Suche nach einem möglichen Ordnungsprinzip beschäftigte die Wissenschaftler lange. Neue Impulse erhielt sie durch die von Antoine de Lavoisier 1789 veröffentlichte Liste von 33 einfachen Stoffen, die sich durch chemische Experimente nicht weiter aufspalten ließen. Da diese Stoffe nicht aufgespalten werden konnten, konnten sie keine Gemische von irgendetwas darstellen; sie mussten die Elemente, aus denen die Welt aufgebaut ist, sein. Darunter waren Wasserstoff und Sauerstoff, genauso wie Schwefel, Zink, Gold und Platin. Nun war die Frage, ob und wie die Elemente sich nach inneren Kriterien ordnen ließen. Demokrit hatte als These formuliert, dass sich die Atome in ihrem Gewicht unterscheiden, was ein Ansatz für eine solche Ordnung sein konnte. John Dalton, ein Engländer, veröffentlichte 1803 Ergebnisse von Versuchen zur Ermittlung der Atomgewichte. Wenn seine Verfahren auch nicht frei von Fehlern waren, so ergaben seine Messungen und Berechnungen doch vergleichbare Größen und damit eine Grundlage, um Ordnung in die Vielfalt der gefundenen Elemente zu bringen. Die entstandene Reihung nach dem Gewicht ließ aber noch keine Rückschlüsse

über ihre chemischen Eigenschaften zu. Der Russe Dimitrij Mendelejew ordnete daher alle bekannten Elemente sowohl nach ihrem Atomgewicht, als auch nach ihren Eigenschaften. Mit seinem 1869 veröffentlichten System aus Spalten und Reihen, stellte er eine wiederkehrende Periodizität der Eigenschaften fest. Auf dieser Basis konnte er erklären, dass an einigen Stellen seines Systems Plätze für Elemente frei bleiben mussten, die noch nicht entdeckt waren, deren Gewicht und Eigenschaften er aber vorhersagen konnte.

Damit war zwar Ordnung in die Vielfalt der Elemente eingekehrt, der Zusammenhang zwischen dem Atomgewicht und den Eigenschaften der Atome war damit aber noch nicht erklärt. Für die Klärung dieses Zusammenhangs waren Überlegungen erforderlich, die über das Gewicht hinausgingen. Statt Größe und Form, wie Demokrit angenommen hatte, lag der Schlüssel zum Verständnis dieses Zusammenhangs im Aufbau der Atome. Die Physiker waren gefragt. Mit der Entwicklung eines modernen Atommodells, das maßgeblich vom Dänen Nils Bohr geprägt wurde, gelang es, solche Erklärungen zu liefern. Nils Bohr war davon ausgegangen, dass Elektronen auf mehreren Ebenen um den Atomkern, der aus Protonen und Neutronen besteht, kreisen. Die Elemente, auf deren äußerer Hülle sich nur ein Elektron bewegt, werden sich wegen dieser gemeinsamen Besonderheit auch ähnlich verhalten. Elemente mit zwei Elektronen auf der äußeren Hülle würden gleichfalls ähnliche Eigenschaften aufweisen und so weiter. Das Periodensystem der Elemente spiegelte also Ähnlichkeiten im Atomaufbau wider.

Diese Erkenntnis ließ jedoch offen, wie aus der überschaubaren Zahl von Elementen die riesige Vielfalt der bekannten Stoffe entsteht. Immerhin war bekannt, dass sie das Resultat von Verbindungen zwischen den Elementen sind. Außerdem war

aufgefallen, dass nicht alle Elemente in gleicher Weise bereit sind, Verbindungen einzugehen. Unter ihnen gab es Phlegmatiker, wie die Edelgase, und wilde Teufel, wie Magnesium und Kalzium, die sehr schnell mit anderen eine Partnerschaft suchen. Doch, woraus resultieren diese Unterschiede? Ein Atom hat die gleiche Anzahl von Protonen und Elektronen, was man als Ausdruck eines relativen Gleichgewichts von Masse und Energie verstehen kann. Das Wechselspiel der aus ihnen resultierenden Kräfte bewirkt, dass in jeder den Kern umgebenden Hülle nur eine begrenzte Anzahl von Elektronen Platz findet. Ist diese Grenze erreicht, hat die jeweilige Hülle, und damit das Atom, seine größtmögliche Stabilität erreicht. Doch, warum ist ein Atom mit mehreren Elektronen in der äußeren Hülle stabiler als eines, das dort nur ein Elektron aufweisen kann? Es liegt wohl daran, dass das Gleichgewicht der Kräfte, das durch die gleiche Zahl an Protonen und Elektronen gesichert wird, durch die Bewegung der Elektronen um den Kern herum Schwankungen ausgesetzt wird. Ein Elektron kann halt nicht zur gleichen Zeit überall sein, so dass temporäre Ungleichgewichte auftreten, die das Atom angreifbar machen. Um derartige Schwankungen zu verringern, müssen möglichst viele Elektronen den Kern in der äußeren Hülle umschwirren. Trifft nun ein Atom, das aus Gründen der Stabilität dazu neigt, ein vereinzelt äußeres Elektron abzugeben, auf ein Atom, das aus den gleichen Gründen ein weiteres Elektron sucht, dann kann es gut sein, dass diese Atome eine Partnerschaft eingehen.

Die Partnerschaften, die Atome eingehen, können unterschiedlich gestaltet sein, sie lassen sich jedoch in drei Grundformen unterteilen. Bei der *Atombindung* werden Elektronen von mehreren Atomen gemeinsam genutzt. Zum einfachsten Fall einer atomaren Bindung kommt es, wenn sich

zwei Wasserstoffatome, die jeweils nur über ein Elektron verfügen, paaren. Sie nähern sich einander an, bis sie einen Punkt erreichen, da Anziehungs- und Abstoßungskräfte im Gleichgewicht sind. Sie wollen ja eine Partnerschaft begründen, und nicht miteinander verschmelzen. Ist das Gleichgewicht der Kräfte erreicht, bilden die beiden Elektronen eine gemeinsame Hülle, so dass nun zwei Elektronen den Doppelkern umkreisen. Durch diese Konstellation verringern sich die Schwankungen im Kraftgefüge, ein stabilerer Zustand wird erreicht. Verbindungen mehrerer Atome nennen wir Moleküle. Die Mehrzahl der Moleküle besteht allerdings nicht aus gleichartigen, sondern aus unterschiedlichen Atomen.

Eine andere Form der Partnerschaft, vielleicht sollte man an dieser Stelle sagen "einer Schicksalsgemeinschaft", ist die *Ionenbindung*. Bei der Ionenbindung gibt ein Atom, zum Beispiel ein Chloratom, seine äußeren Elektronen komplett an ein anderes Atom, im Beispiel an ein Natriumatom, ab. Beide Atome erreichen eine höhere Stabilität. Dabei entsteht jedoch ein Ungleichgewicht im Verhältnis von Protonen und Elektronen, dass nun in einem größeren Zusammenhang, in unserem Beispiel in einem Salzkristall, ausgeglichen werden muss. Kristallgitter sind sehr stabil, aber irgendwie auch ein Gefängnis, denn die Bewegungsfreiheit der Teile ist stark eingeschränkt. Auf Ionenbindung basierende Kristallstrukturen sind weit verbreitet, der größte Teil der Gesteine weist diese Struktur auf.

Die dritte Form der Bindung ist die *Metallbindung*. Metalle sind meist hart und dennoch biegsam. Darüber hinaus sind sie gute Leiter von Energie. Diese Eigenschaften resultieren daraus, dass ihre Struktur Flexibilität aufweist, so dass die Elektronen nicht fest an den Kern gebunden sind. Kommen Metallatome mit Artgenossen zusammen, entsteht eine Wolke sich relativ frei

zwischen den Atomkernen bewegender Elektronen. Die Kerne und die Elektronenwolke bilden ein neuartiges Ganzes, das nicht wie ein Kristallgitter starr und spröde, sondern verschiebbar und damit formbar ist. Die freie Beweglichkeit der Elektronen begünstigt die Aufnahme wie auch die Abgabe von Energie.

Partnerschaften sind an sich schon kompliziert genug und dann tauchen auch noch Dritte auf, die sich einmischen und mit ihrer Energie alles durcheinanderbringen. Das ist auch bei Molekülen der Fall. Den Energiehalt von Stoffen gibt man meist als Temperatur an. Sie zeigt an, mit welcher Intensität sich die Atome und Moleküle bewegen. In einem Kristallgitter hat jedes Teilchen seinen festen Platz, an dem es ein wenig zittern oder ähnliches vollführen kann. Für mehr Bewegung ist kein Raum, weshalb diese Stoffe eine feste Konsistenz und meist eine relativ niedrige Temperatur aufweisen. Wenn man dieser Struktur von außen Energie zuführt, dann werden die Bewegungen der Teilchen heftiger. Können sie trotz weiterem Zufluss keine Energie abgeben, werden die immer heftiger werdenden Bewegungen irgendwann das Kristallgitter sprengen. Die feste Form ist dahin, die Temperatur des Stoffes steigt, Eis wird zu Wasser. Die Moleküle des Wassers können sich freier bewegen und daher mehr Energie aufnehmen. Gibt man jedoch immer weiter Energie hinzu, werden auch die im Verbund des Wassers wirkenden Anziehungskräfte überwunden und die ehemaligen Partner verflüchtigen sich. Aus dem Wasser wird Dampf, der das Weite sucht.

Neben der Temperatur, die uns einen Hinweis auf den Energiegehalt des Wassers liefert, gibt es noch einen weiteren Aspekt, der die Grenze, an dem es erstarrt oder zu sieden beginnt, beeinflusst - der von außen wirkende Druck. Viele wissen wahrscheinlich, dass Wasser auf dem Mount Everest bereits bei

weniger als 100° Celsius siedet, da dort der Luftdruck geringer ist als auf Höhe des Meeresspiegels. Das heißt, die Wassermoleküle brauchen eine geringere Energiezufuhr, um die Kraft, die sie zusammenhält, zu überwinden. Diese Kraft setzt sich demnach aus der inneren Anziehungskraft, die auf dem Mount Everest keine andere ist als an der Nordseeküste, und den äußeren Kräften, die auf den Erhalt der Bindungen hinwirken, hier dem Luftdruck, zusammen. Nimmt dieser äußere Druck ab, wird die Summe der Kräfte, die den Verbund zusammenhalten, geringer, so dass weniger Energie für die Sprengung der Struktur erforderlich ist. Ähnliches gilt für alle anderen Stoffe.

Auf Erden kennen wir 94 natürliche Elemente, aus denen rund 20 Millionen Stoffe entstanden sind. Mit dieser großen Vielfalt nimmt die Erde sicher einen der vorderen Plätze unter den Himmelskörpern ein. Die Anzahl der Objekte, die das All bevölkern, ist allerdings ungleich größer. Die Menschen haben schon sehr früh versucht, auch in die Vielfalt am Himmel eine gewisse Ordnung zu bringen. Ihre Beobachtungen halfen ihnen die natürlichen Abläufe auf der Erde besser zu verstehen. Eine besondere Bedeutung hatte die Sonne, ohne die nichts gedeihen konnte. Lange Zeit glaubte man, die Sonne würde sich um die Erde drehen, wanderte sie doch im Laufe eines Tages von der einen Seite des Firmaments auf die andere. Es stellte sich jedoch heraus, dass nicht die Erde der Dreh- und Angelpunkt ist, die Sonne ist es, um die sowohl die Erde als auch die anderen Planeten des Systems kreisen. Unser Sonnensystem gehört wiederum zur Milchstraße, der Galaxis. Den Mittelpunkt der Galaxis bildet vermutlich ein massereicher Himmelskörper, den man als „Schwarzes Loch“ bezeichnet, da er unvorstellbare Anziehungskräfte entfaltet, die nicht einmal Licht, das heißt Photonen, entkommen lassen. Unsere Galaxis bildet mit

unzähligen anderen Himmelskörpern das Universum, die größte uns bekannte Struktur.

Man könnte sagen, dass von den Bausteinen der Atome bis hin zum Universum alles und jedes eine Struktur besitzt und aus Teilen besteht, die selbst strukturiert sind. Darüber hinaus ist jede Struktur Bestandteil einer übergeordneten Struktur. Alles ist Struktur. Doch, was ist dann Chaos? Die ersten Strukturen waren entstanden, weil Teilchen Bindungen eingingen und sich dabei in einer bestimmten Anordnung formierten, die ein gewisses Maß an Stabilität besaß. Entzieht man dieser oder einer anderen Struktur Energie, dann verringert sich die Bewegung in ihrem Innern und die Struktur gewinnt an Stabilität.

Kann man einer Struktur sämtliche Energie entziehen? Kelvin hat den absoluten Nullpunkt bestimmt, an dem eine Struktur keinerlei Energie, sprich Bewegung mehr zeigt. Der absolute Nullpunkt ist ein Grenzwert, dem man sich annähern, den man aber nicht erreichen kann. Das heißt, es gibt keine Strukturen gänzlich ohne Bewegung. Was passiert, wenn man einer Struktur Energie zuführt? In diesem Fall verstärken sich die Bewegungen ihrer Teile; die Struktur wird instabiler. Führt man ihr immer weiter Energie zu, wird die Bewegung der Teile irgendwann die Struktur sprengen. Die Bewegungen beinhalten demnach ein chaotisches Moment, welches das Potenzial hat, Strukturen zu zerstören.

Wenn Struktur Stabilität verheißt und Bewegung Chaos oder Zerstörung gebiert, dann bilden sie einen Gegensatz. In einem Gegensatz sind Abhängigkeiten immer wechselseitig. Das heißt, wenn der Satz richtig ist, dass es keine Struktur ohne Bewegung gibt, das heißt, jede Struktur ein chaotisches Moment in sich trägt, dann muss auch die Umkehrung gelten, dann muss jedes

Chaos in eine Struktur eingebettet sein. Nehmen wir ein Beispiel. Wenn man Wasser Energie zuführt, wird daraus irgendwann Wasserdampf. Die Bewegungen der Moleküle des Wasserdampfs sind chaotisch, in dem Sinne, dass sie keiner erkennbaren Struktur folgen. Trotzdem ist der Vorgang des Verdampfens reversibel. Wenn Wasserdampf durch Entzug von Energie wieder zu Wasser werden kann, dann muss es auch für den Wasserdampf einen strukturellen Zusammenhang geben, der dies ermöglicht. Nehmen wir an, es hat geregnet und auf dem Hof haben sich Pfützen gebildet. Da bald darauf wieder die Sonne scheint, dauert es nicht lange und das Wasser ist verdunstet. Der im Wasser vorhandene strukturelle Zusammenhang wurde durch die von der Sonne gespendete Energie aufgelöst. Mit dem Verschwinden der Pfütze hören die Wassermoleküle jedoch nicht auf zu existieren. Sie schwirren nun durch die Luft. Kommen sie in höhere Schichten der Atmosphäre wird ihnen Energie entzogen, da es dort kälter als in Bodennähe ist. Sie werden sich deshalb wieder in größeren Strukturen, in Wassertropfen, Schneeflocken oder Eiskörner, zusammenfinden.

Damit sich gasförmige Wassermoleküle wieder zu Wasser oder Eis formieren können, muss ihnen nicht nur Energie entzogen werden, es müssen auch genügend solcher Moleküle vorhanden sein, damit sich diese gegenseitig anziehen und eine gemeinsame Struktur bilden können. Letzteres wird durch die übergeordnete Struktur, in unserem Beispiel die Erdatmosphäre, gesichert, die ein Entschwinden der Moleküle gen Weltraum verhindert. Irgendwann wird aus den auf diese Weise entstehenden Wolken womöglich ein Regenschauer niedergehen, so dass sich erneut Pfützen bilden. Halten wir also fest: Im Falle der Auflösung einer Struktur bleiben ihre Bestandteile, die ebenfalls eine Struktur besitzen, erhalten. Sie gehören auch weiterhin zur

übergeordneten Struktur, in der sich die "freien" Teile zu neuen Strukturen finden können. Mit anderen Worten, Strukturen sind allgegenwärtig, während Chaos nur in einzelnen Bezugssystemen auftritt.

Kann man auch in die Vielfalt der Bewegungen eine gewisse Ordnung bringen? Von allen Besonderheiten abgesehen, lassen sich die Bewegungen von Körpern, Teilchen und anderen Objekten als innere Bewegungen, Bewegungen um sich selbst oder Bewegungen in einem übergeordneten Raum beschreiben. Alle Strukturen sind in irgendeiner Weise in Bewegung. Doch was ist dann Ruhe? Wir hatten schon gesehen, dass Bewegungen immer nur in Bezug auf ein anderes Objekt wahrgenommen werden können. Wenn nun das beobachtete Objekt seine Lage zum Bezugsobjekt nicht verändert, befindet es sich für uns in Ruhe. Erinnert sei an die Verbrecherjagd mit den beiden nebeneinander fahrenden Autos. Da die Autos mit gleicher Geschwindigkeit unterwegs sind, ist der Sprung von dem einen zum anderen Auto möglich. Sie befinden sich in relativer Ruhe zueinander. In Bezug auf ein anderes Objekt, einem am Straßenrand parkenden Auto zum Beispiel, wird die Gefährlichkeit eines solchen Sprunges deutlich. Mit anderen Worten, Ruhe existiert nur in einem definierten Bezugssystem, während Bewegungen allgegenwärtig sind.

Dem Zusammenhang von Struktur und Bewegung wird im zweiten Teil, im Abschnitt „Dialektik von Struktur und Bewegung“, weiter nachgegangen.

Der Energiegehalt der Strukturen

Der Energiegehalt der Erde setzt sich aus der Energie, die in ihrer

Bewegung um die Sonne und in der Drehung um sich selbst zum Ausdruck kommt, zusammen. Hinzu kommt die Energie, die in ihrem Innern brodelt. Das Ganze wird durch Energie von außen, vor allem von der Sonne, ergänzt. Allerdings strahlt auch die Erde mit allem, was darauf ist, Energie in den Weltraum ab. In kalten und klaren Nächten wird dies besonders deutlich. Dann wird man auch feststellen, dass nicht alle Stoffe in gleicher Weise Energie abgeben. Stoffe, die sich nur langsam erwärmen, halten die Wärme längere Zeit. So kühlen Gegenstände aus Metall oder Glas schneller aus als die Luft oder der Erdboden. Autofahrer wissen, dass in solchen Nächten Feuchtigkeit am Auto kondensiert und manchmal sogar gefriert, obwohl auf dem Boden kein Eis zu sehen ist. Ist der Himmel bedeckt, wirken die Wolken als Isolierschicht, die die schnelle Auskühlung der Erde und der Autos darauf verhindert. Doch, warum strahlt die Erde überhaupt Wärme ab? Die Ursache dafür ist im Bestreben aller Strukturen nach Ausgleich der Energieniveaus zu suchen. Durch diesen Ausgleich verringern sich Störungen von außen, so dass sich die Stabilität der Strukturen insgesamt vergrößert. Der nächtliche Energieverlust der Erde ist kein Grund zur Sorge, denn erstens haben wir mit der Sonne einen freigiebigen und nahezu unerschöpflichen Energiespender in unserer Nähe und zweitens reguliert die Atmosphäre der Erde den Energieaustausch soweit, dass uns die Sonne am Tage nicht gnadenlos verbrennt und die Nacht nicht das Blut erstarren lässt. Dieser Umstand macht das Leben auf Erden überhaupt erst möglich. Wird diese Isolierschicht jedoch verdichtet, zum Beispiel durch Vulkanasche, dann kann es ungemütlich werden. Vulkanasche absorbiert die Photonen der Sonne und es wird kalt. Einige in die Atmosphäre gelangenden Gase können wiederum das Abstrahlen von Energie behindern, so dass der Erde warm wird.

Per Saldo sind wir auf die Energiespende der Sonne angewiesen. Ohne ihr Licht könnte nichts gedeihen. Die Pflanzen nutzen die Sonnenenergie, um Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zu zerlegen. Der Sauerstoff wird an die Luft abgegeben, während sich der Wasserstoff mit dem Kohlendioxid der Luft derart verbindet, dass Zuckermoleküle entstehen. Sie sind der Energiespeicher, den die Pflanzen brauchen, um auch dann zu überleben, wenn die Sonne nicht scheint. Die Zucker sind darüber hinaus die Grundlage für die Bildung der Baumaterialien, die die Pflanzen für ihr Wachstum benötigen. Die Fähigkeit der Pflanzen, Sonnenenergie in körpereigenen Stoffen zu speichern, war auch Voraussetzung für die Entstehung der Tiere. Tiere sind auf die Aufnahme der von Pflanzen gespeicherten Energie angewiesen. Da die Pflanzen nicht zu ihnen kommen, mussten sie lernen, fressbare Pflanzen zu suchen, das heißt, die Umwelt wahrzunehmen und sich in ihr zu bewegen. Außerdem mussten sie lernen, die pflanzlichen Stoffe derart umzuwandeln, dass die in ihnen steckende Energie für sie nutzbar wurde. Man könnte einwenden, dass es auch Tiere gibt, die sich von anderen Tieren ernähren. Das ist richtig, ändert aber nichts am Prinzip, denn am Anfang der Nahrungskette stehen in jedem Fall Tiere, die Pflanzen fressen. Ähnlich wie die Pflanzen haben allerdings auch die Tiere das Problem, dass sie keinen gleichmäßigen Energienachschub von außen sichern können. Hinzu kommt, dass Phasen erhöhten Energieverbrauchs, zum Beispiel die Jagd oder eine Flucht, nicht mit den Phasen der Energiezufuhr von außen, dem Fressen also, zusammenfallen. Um trotzdem für alle Herausforderungen gewappnet zu sein, brauchen sie einen Energievorrat. Dazu wird die Nahrung, die nicht sofort verbraucht wird, in körpereigene Stoffe mit hoher Energiedichte umgewandelt. Die Freisetzung der in diesen Stoffen gespeicherten Energie wird durch Verbrennung, das heißt, durch eine Reaktion mit Sauerstoff erreicht.

Die Energie, die bei der Verbrennung freigesetzt wird, stammt also letztlich von der Sonne. Ohne die Energie der Sonne und die Fähigkeit der Pflanzen, diese zu speichern, gäbe es keine Tiere und damit auch keine Menschen. Doch, wie gelangt die Energie der Sonne zu uns, wie wird Energie transportiert? Wenn man Wasser Energie zuführt, indem man einen Stein in einen Teich wirft, dann entsteht eine Welle, mit der sich die zugeführte Energie ausbreitet. Die Welle resultiert daraus, dass Wassermoleküle durch den Stein in Schwingung gebracht werden und sich die Schwingungen zu einer Welle vereinen. Ähnlich wird der Schall, also energetisch aufgeladene Luft, transportiert. Lange Zeit ging man davon aus, dass der Weltraum mit einem Stoff gefüllt sei, den man Äther nannte, so dass die Schlussfolgerung nahelag, dass sich auch im Weltraum Energie wellenförmig ausbreitet. Als Einstein nachwies, dass es keinen Äther gibt, hätte hinter der Wellentheorie des Lichts ein Fragezeichen gehört, denn ihr war das Medium für die Ausbreitung von Wellen abhandengekommen.

Es gibt noch einen weiteren Aspekt, der mir die Wellentheorie des Lichts unwahrscheinlich erscheinen lässt. Energetische „Teilchen“, wie Elektronen oder Photonen, breiten sich im leeren Raum mit Lichtgeschwindigkeit aus, die, so die allgemein akzeptierte Theorie, die höchste mögliche Geschwindigkeit ist. Geschwindigkeit ist durch den in der Zeiteinheit zurückgelegten Weg definiert. Für die Lichtgeschwindigkeit sind das rund 300.000 Kilometer in der Sekunde. Würden sich die Photonen in Schwingungen bewegen und auf diese Weise eine Welle erzeugen, müssten sie außer dem linearen Weg der Ausbreitung auch noch den Schwingungsweg, den Weg zwischen den Amplituden der Schwingung, zurücklegen. Da das sichtbare Licht eine Frequenz von 400 bis 750 Billionen Zyklen in der Sekunde

aufweist, wäre dieser Weg eine Größe, die man nicht vernachlässigen kann. Das hieße aber, dass die Geschwindigkeit der Photonen deutlich größer sein müsste als die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts, mithin als die Lichtgeschwindigkeit, was jedoch als ausgeschlossen gilt. Dieses Dilemma löst sich auf, wenn man die zyklischen Bewegungen der Photonen, die es zweifelsfrei gibt, nicht als Schwingungen, sondern als Drehungen um sich selbst begreift, da mit Drehungen kein zusätzlicher Weg zurückgelegt wird.

Soweit so gut, doch vom Weltraum zurück zum Atom. Wie haben wir uns die Bewegungen innerhalb von Atomen vorzustellen, in denen ja die Elektronen das prägende energetische Moment darstellen? Ich habe gerade einen Kaffee aufgebrüht. Dafür brauchte ich heißes Wasser, das ich mit einem Wasserkocher bereitet habe. So ein Wasserkocher wird mit Strom betrieben. Strom, das sind Elektronen, die in die Heizplatte fließen und dort zur Erwärmung führen. Die Heizplatte wiederum erwärmt das Wasser. Aber, wanderten tatsächlich massenhaft Elektronen vom Stromkabel in die Heizplatte? Das würde bedeuten, dass sowohl die Strukturen im Stromkabel wie auch die in der Heizplatte ständig Elektronen aus ihrem Verbund entlassen beziehungsweise neue Elektronen einbauen müssten. Eine ständige Veränderung der Strukturen würde jedoch deren Stabilität gefährden, was den Atomen und Molekülen zuwider ist. Daher wird es wohl eher so sein, dass den Elektronen mit dem, was wir als Strom bezeichnen, Energie von außen zugeführt wird. Ihre Bewegung wird beschleunigt, das heißt, ihre Frequenz erhöht sich. Da die Elektronen zu einer Struktur gehören, stört die zusätzliche Energie, denn ihre Stabilität wäre gefährdet, weshalb die Elektronen die überschüssige Energie schnell wieder loswerden wollen. Deren Weitergabe an andere ist jedoch davon

abhängig, dass genügend frei bewegliche Elektronen vorhanden sind, die diese Energie aufnehmen können. Da auch diese die überflüssige Energie weiterreichen werden, entsteht ein Energiefluss, den wir als Strom bezeichnen. Was würde passieren, wenn nicht genügend frei bewegliche Elektronen zur Weiterleitung der Energie vorhanden wären? Nicht viel. Legt man einen elektrischen Strom an eine Keramikmanschette, dann sind keine Elektronen, die die Energie weitergeben können, verfügbar. Nichts passiert, kein Strom nirgends. Es besteht auch die Möglichkeit, dass das Material, das die Energie aufnimmt, diese nicht in der gleichen Geschwindigkeit abgeben kann, wie es sie aufnehmen muss. Man könnte dies als Widerstand gegen die Weiterleitung der Energie begreifen. In dem aufnehmenden Material verbleibt auf diese Weise ein Energieüberschuss, der jedoch, wie wir wissen, störend ist. Er wird nun in Form von Photonen, mithin als Wärme, nach außen abgegeben. Auf diese Weise bringt die Heizplatte des Wasserkochers das Wasser zum Sieden.

Was geschieht eigentlich, wenn wir einen Raum beheizen? Nehmen wir als Beispiel eine mit warmem Wasser betriebene Heizungsanlage. Das Wasser wird mit einem Brenner erwärmt. Die Elektronen der Wassermoleküle nehmen die Energie auf und verstärken ihre Bewegung. Dann wird das Wasser durch die Heizungsanlage gepumpt, wodurch es die Chance erhält, überschüssige Energie an die Heizungsrohre und Heizkörper abzugeben. Da auch die Heizkörper diese Energie wieder loswerden wollen, geben sie diese an die Luft ab. Nur leider, die Luft ist träge. Ehe sie die Energie im Raum verbreitet, können Stunden vergehen. Und dann steigt die warme Luft auch noch nach oben, wo wir uns höchst selten aufhalten. Hauptsache die Fliegen an der Decke haben es schön warm. Doch, wieso wärmt

die Sonne selbst bei frostigen Temperaturen mein Gesicht, während die Heizung Stunden braucht, ehe die Wärme bei mir ankommt? Nehmen wir noch einmal den Wasserkocher zur Hilfe. Beim Wasserkocher hatten wir gesehen, dass die Heizplatte die aufgenommene Energie so schnell wie möglich wieder abgeben wollte. Das Wasser war ihr Opfer, das zum Kochen gebracht wurde. Wie ist das mit der Wärme der Sonne? Bei der Sonnenstrahlung, die ihren Weg durch das Weltall findet, sind Stoffe, die die Energie weiterleiten könnten, nicht vorhanden. Das heißt, es muss einen Unterschied zwischen der Wärmestrahlung und der Weiterleitung von Wärme über andere Stoffe geben. Bei der Strahlung wird die Energie offensichtlich auf direktem Wege an einen zufällig den Weg kreuzenden Empfänger abgegeben. Im Weltraum ist die Gefahr solcher Zusammenstöße relativ gering, weshalb große Mengen von Photonen die Erde erreichen. Die Menge ist jedenfalls groß genug, dass trotz der Absorption durch die Atmosphäre genügend von ihnen meine Haut erwärmen.

Bisher haben wir uns mit der Energie von Strukturen beschäftigt und gesehen, dass sie zusätzliche Energie in gewissem Umfang aufnehmen können, aber gleichzeitig bestrebt sind, den alten stabilen Zustand wiederherzustellen. Bei der Photosynthese hatten wir außerdem gesehen, dass es möglich ist, Energie in körpereigenen Strukturen zu speichern, wodurch Masse entsteht. Wird diese zur Freisetzung der Energie aufgespalten, geht sie wieder verloren. Die Wandelbarkeit von Energie in Masse und umgekehrt beschäftigt jedoch nicht nur Biologen. Die Äquivalenz von Masse und Energie ist auch Gegenstand einer der berühmtesten Theorien der Physik, von Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie. Er hat das Verhältnis von Masse und Energie in der mittlerweile jedem Schulkind bekannten Formel $E=mc^2$ zum Ausdruck gebracht. Demnach erhält man den Energiegehalt einer

Masse, wenn man sie mit dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit multipliziert. Das sollten uns etwas näher anschauen.

Für mich entsteht bei dieser Formel zuvörderst die Frage, warum die Lichtgeschwindigkeit in ihr eine derart herausgehobene Rolle spielt. Den Grund dafür muss man wohl in der Geschichte der Physik suchen, denn die Untersuchung des Lichts hatte lange Zeit eine zentrale Rolle in den Überlegungen der Physiker gespielt. Als es ihnen gelang, dessen Geschwindigkeit mit hoher Präzision zu bestimmen, galt dies zurecht als Meilenstein. Darüber hinaus war die These, dass die Lichtgeschwindigkeit die höchste aller möglichen Geschwindigkeiten sei, zu einer Kernaussage der modernen Physik geworden. Nach und nach wurde allerdings klar, dass sich außer den Photonen auch andere "Teilchen", wie Elektronen oder Neutrinos, mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. Vor diesem Hintergrund muss man das "c" in Einsteins Formel wohl allgemein für die Geschwindigkeit, mit der sich Energie im leeren Raum ausbreitet, verstehen. Das gemeinsame Merkmal der "Teilchen", die sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, besteht darin, dass sie nicht aus noch kleineren Bausteinen aufgebaut sind. Sie sind pure Energie, die sich in Portionen, Quanten genannt, verbreitet. Da sich diese Energiequanten in mancher Hinsicht wie Teilchen verhalten, werde ich sie in Abgrenzung zu anderen Teilchen als *Energiepartikel* bezeichnen.

Dann ist da noch die Frage, wieso die aus Masse resultierende Energie so viel größer ist (c^2) als die Energie, die sich in ihrer Ausbreitung (c) zeigt. Für diese Frage müssen wir uns in Erinnerung rufen, wie sich die Energie eines Teilchens oder die Bewegung einer Struktur zusammensetzt. Zum einen haben wir die Expansionsbewegung, das heißt, die Bewegung mit der sich Energiepartikel im Raum ausbreiten. Der Energiegehalt dieser Bewegung drückt sich in der Lichtgeschwindigkeit aus. Eine

zweite Bewegung der Partikel ist ihr Spin, das heißt ihre Drehung um sich selbst. Die Geschwindigkeit des Spins, das heißt seine Frequenz, ist nicht bei allen Energiepartikeln gleich. Sie kann selbst bei ein und derselben Partikelart, wie den Photonen, variieren. Als dritte Dimension wären noch die Bewegungen im Inneren der Energiepartikel zu betrachten. Die inneren Bewegungen könnten zum Beispiel mehr oder weniger stark verdichtet sein. Je größer die Energiedichte des Partikels ist, umso größer wäre sein Masseäquivalent. Warum das Masseäquivalent eines Photons allerdings mit Null angegeben ist, erschließt sich mir nicht, auch wenn die aus seiner Energie abgeleitete Masse sehr gering ausfallen wird. Dem Neutrino ordnet man übrigens eine Masse zu, was die „Masselosigkeit“ des Photons noch fragwürdiger erscheinen lässt.

Die Neutrinos haben jedoch tatsächlich etwas, was die Photonen nicht vorweisen können, sie können Stoffe unbeschadet durchqueren, während es für Photonen bei vielen von ihnen kein Durchkommen gibt. Welche Eigenschaften mögen diesen Unterschied bewirken? Da Energiepartikel keine innere Struktur besitzen, fällt diese als mögliche Ursache aus. Wir werden die Ursache also in den Bewegungen der Energiepartikel suchen müssen. Die Ausbreitungsbewegung ist für alle gleichermaßen mit der Lichtgeschwindigkeit beschrieben. Sie macht keinen Unterschied. Die Drehung um sich selbst kann jedoch unterschiedlich sein. Das betrifft sowohl die Richtung, in der sie sich drehen, als auch deren Frequenz. Die Drehrichtung bestimmt, ob wir das Partikel zur Materie oder zur Antimaterie zählen. Antimaterie ist in unserer von Materie bestimmten Welt allerdings keine dauerhafte Existenz vergönnt. Dann sind da noch die Unterschiede in der Frequenz. Eine höhere Frequenz sollte dazu führen, dass die mit dem Spin verbundene äußere Form des

Energiepartikels stabiler wird, so dass er andere Stoffe besser durchdringen kann. Als dritte Dimension ist die Bewegung im Innern der Energiepartikel zu beachten. Eine größere Energiedichte sollte sie kompakter werden lassen, was ebenfalls Auswirkungen auf die Fähigkeit zur Durchdringung anderer Stoffe haben könnte. Die Bewegung im Innern der Energiepartikel unterscheidet sich aber nicht nur durch ihre Dichte, auch die Struktur der inneren Bewegungen kann variieren und damit Unterschiede im Verhalten bewirken.

Raum und Zeit

Joseph Luis Gay-Lussac hatte 1802 festgestellt, dass sich Gase bei Energiezufuhr ausdehnen, und zwar bei gleichbleibendem Druck proportional zur Steigerung der Temperatur. Das daraus formulierte physikalische Gesetz wurde nach ihm benannt. Dieses Gesetz würde hier kaum Erwähnung finden, wenn neben der Ausdehnung der Gase nicht noch ein anderer Aspekt zu bedenken wäre. Will man ein Gas erhitzen, muss man ihm Energie zuführen. Diese Energie regt die Atome respektive Moleküle an, deren Bewegungen nun heftiger werden. Das Gas dehnt sich aus, denn es braucht mehr Raum für seinen Bewegungsdrang. Gleichzeitig schafft sich das Gas diesen Raum, in dem es mit seiner gewachsenen Energie die Kräfte der Anziehung wie auch äußeren Druck überwindet und sich ausdehnt.

Bewegung schafft Raum. Diese Beobachtung gilt nicht nur für Gase, auch feste und flüssige Stoffe dehnen sich bei Zuführung von Energie aus. Der Grad der möglichen Ausdehnung ist je nach Material unterschiedlich, er hängt von den Verbindungen zwischen den Atomen oder Molekülen ab. Kristallstrukturen sind weniger flexibel als Metalle oder Flüssigkeiten, deren Bestandteile leicht verschiebbar sind. Die Feststellung "Bewegung

schafft Raum" gilt aber nicht nur für Atome und Moleküle, sie gilt genauso für das Universum als Ganzes. Man weiß, dass sich das Universum permanent ausdehnt. Offensichtlich hatte sich nach dem Urknall, der als initiales Ereignis für seine Entstehung gilt, kein Massemittelpunkt gebildet, so dass sich seine Bestandteile nahezu ungehindert in alle Richtungen ausbreiten können. Im Prozess des Auseinandertreibens vergrößert sich der Bewegungsraum des Universums, es schafft sich Raum.

Man könnte einwenden, dass der Raum, der nun besetzt wird, auch schon vorher existierte. Das stimmt, und auch wieder nicht. Nehmen wir noch einmal unser umtriebigen Gas zur Hilfe. Erhitzt man das Gas innerhalb eines abgeschlossenen Behälters, dann kann es sich ausdehnen und den ganzen Raum des Behälters besetzen, während es vorher vielleicht nur am Boden herumgelungert hatte. In diesem Fall konnte es auch nur dort, am Boden, mit anderen Stoffen reagieren. Der Raum, den es sich durch seine Ausdehnung neu erschließt, war als Raum des Behälters zwar bereits vorhanden, jedoch nicht mit unserem Gas befüllt. Das heißt, das Gas besetzt einerseits einen in der übergeordneten Struktur, dem Behälter, bereits vorhandenen Raum, andererseits ist dieser Raum für das Gas neu, denn es war vorher dort nicht präsent, konnte dort auch nicht mit anderen Stoffen reagieren. Wie ist das mit dem Universum? War der Raum, den das Universum durch seine Ausdehnung neu besetzt, auch vorher vorhanden? Für das Universum war er nicht vorhanden, denn es gilt das Gleiche wie für das Gas, nur der eigene Bewegungsraum zählt. Ob es eine dem Universum übergeordnete Struktur und damit einen übergeordneten Raum gibt, den unser Universum nach und nach ein Stück weit erobert, wissen wir nicht. Es spielt für unser Dasein auch keine Rolle, da uns Ereignisse außerhalb unseres Universums nicht tangieren.

Selbst ein Ereignis am Rand unseres Universums ist für uns ohne Bedeutung. Ehe eine Nachricht respektive Wirkung von dort bei uns einträte, würde es die Erde schon längst nicht mehr geben. Die Entfernungen sind zu gewaltig.

Da wir uns einer dialektischen Betrachtung der Welt verpflichtet haben, müssen wir auch nach der Umkehrung der These "Bewegung schafft Raum" fragen. Die Umkehrung der These wäre die Aussage "Wo keine Bewegung ist, da ist kein Raum". Woran soll man diese Aussage festmachen, wenn es in der Natur doch nichts gibt, das ohne Bewegung ist. Der absolute Nullpunkt wird ja gerade deshalb nicht erreicht, weil etwas völlig Bewegungsloses nicht existieren kann. Wenn man nicht weiterweiß, dann besteht immer die Möglichkeit, bei den alten Griechen nach Anregungen zu suchen. Sie haben schon vieles diskutiert, was uns noch heute beschäftigt. Zenon war zum Beispiel ein Paradoxon aufgefallen, das er anhand eines Wettlaufs zwischen Achill und einer Schildkröte erläuterte. Die Schildkröte erhält einhundert Meter Vorsprung. Beide laufen gleichzeitig los. Wenn Achill an dem Punkt ankommt, von dem die Schildkröte gestartet ist, also nach einhundert Metern, dann hat die Schildkröte in der gleichen Zeit sagen wir zehn Meter zurückgelegt. Eine Schnellläufer-Schildkröte halt. Beide laufen natürlich weiter. Wenn Achill die zehn Meter zurückgelegt hat, ist die Schildkröte wieder einen Meter davongezogen und so weiter. Das heißt, immer, wenn Achill an dem Punkt ankommt, von dem die Schildkröte losgelaufen ist, dann ist diese ein kleines, ein immer kleiner werdendes Stück voraus. Dies kann man bis zur Unendlichkeit fortsetzen. So gesehen, könnte Achill die Schildkröte nicht überholen. Er überholt sie trotzdem. Mathematisch ist das Ganze klar. Man kann den Punkt berechnen, an dem Achill die Schildkröte überholt, indem man

den Abstand zwischen Achill und der Schildkröte in unendlich vielen Schritten immer kleiner werden lässt, bis ein Grenzwert erreicht ist, ein Punkt, an dem Achill an der Schildkröte vorbeizieht. Ein Grenzwert in der Unendlichkeit! Offensichtlich haben Mathematiker kein Problem damit, die Unendlichkeit mittels ihres Gegenteils, eines konkreten Grenzwerts zu definieren. Ihre Methode hat sich ja in der Praxis bewährt. Auf unseren Wettlauf bezogen heißt das, der Punkt, an dem Achill die Schildkröte überholt, kann keine räumliche Dimension mehr haben, denn dann gäbe es eine noch kleinere, die zurückzulegen wäre. Da dieser Punkt keine räumliche Dimension hat, kann er keine Bewegung verkörpern. Er ist ein Zeit-Punkt der Bewegungslosigkeit. Da man die Ausgangsdaten für die Berechnung eines solchen Grenzwertes ganz beliebig wählen kann, könnte jeder Punkt einer Bewegung als Grenzwert in Erscheinung treten. Mit anderen Worten, die Bewegung setzt sich aus Zeit-Punkten der Bewegungslosigkeit zusammen. Die Punkte der Bewegungslosigkeit müssen gleichzeitig, da sie in ihrer Gesamtheit die Bewegung ausmachen, ein die Bewegung konstituierendes Moment in sich tragen.

Eindrucksvoll haben Achill und die Schildkröte gezeigt, dass Raum und Bewegung eine Einheit bilden, dass dort, wo keine Bewegung ist, auch kein Raum sein kann und umgekehrt. Wie ist das mit der Zeit, da Raum und Zeit doch irgendwie zusammengehören? "Ich bin der Geist der stets verneint! / Und das mit Recht; denn alles was entsteht / Ist wert dass es zu Grunde geht..." lässt Goethe den Mephisto sagen. Was ist dieses "alles", das entsteht und zugrunde geht? "Alles", das sind letztlich alle Strukturen, egal ob Moleküle oder Planeten, ob Pflanzen, Tiere oder Menschen. Alle entstehen irgendwann und, wenn ihre Zeit um ist, zerfallen sie in ihre Bestandteile. Sie zerfallen am Ende ihrer Zeit. So gesehen ist

die Zeit etwas Konkretes, nämlich die Spanne vom Werden bis zum Vergehen einer Struktur. Alles hat seine Zeit. Genauso wie jede Struktur Bestandteil einer übergeordneten Struktur ist, so ist auch die Zeit dieser Struktur Bestandteil einer übergeordneten Zeit. Die Zeit der Schildkröte geht in die Zeit der Erde als Planeten ein. Die Erde wird nicht aufhören zu existieren, weil die Schildkröte das Zeitliche segnet. Sollte allerdings die Zeit der Erde aus irgendeinem Grund abrupt zu Ende gehen, dann hilft es der Schildkröte nicht, dass sie eigentlich noch jung an Jahren ist und ihre Zeit daher noch nicht gekommen wäre. Sie geht mit der Erde, deren Bestandteil sie ist, unter. Die Erde wiederum ist Bestandteil des Sonnensystems und dieses gehört zur Milchstraße, unserer Galaxis. Letztlich sind alle Strukturen Bestandteil des Universums und damit einer universellen Zeit. Die universelle Zeit entsteht mit dem Universum und irgendwann wird sie mit ihm zu Ende gehen. Struktur und Zeit bilden eine Einheit.

Das Verhältnis von Raum und Zeit spielt auch in einer berühmten Theorie der Physik, in Einsteins Spezieller Relativitätstheorie, eine wichtige Rolle. Um diese Theorie einordnen zu können, müssen wir kurz in ihre Entstehungsgeschichte zurückblicken. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts hatte James Clerk Maxwell dargelegt, dass Licht eine elektromagnetische Welle sein muss, die sich, ebenso wie andere elektromagnetische Wellen, mit einer endlichen konstanten Geschwindigkeit, der Lichtgeschwindigkeit, ausbreitet. Lange Zeit war man zudem der Meinung gewesen, dass der Weltraum von einem Stoff angefüllt sei, den man Äther nannte. Der Äther sollte das Medium sein, in dem sich die Lichtwellen ausbreiten, ähnlich den Schallwellen in der Luft. Außerdem sollten sich die Bestandteile des Äthers zueinander in Ruhe befinden, so dass sie den Bezug für die Bestimmung der absoluten Geschwindigkeit des Lichts bilden konnten. Einstein

war zu der Überzeugung gelangt, dass es einen Äther nicht gibt. Alle theoretischen Ansätze, die einen Äther postulierten, hatten sich als nicht haltbar erwiesen. Wenn es keinen Äther gab, dann gab es auch keine Möglichkeit, die absolute Geschwindigkeit des Lichts zu bestimmen, sie wäre schlicht nicht messbar. Wenn eine absolute Geschwindigkeit des Lichts nicht messbar ist, so seine Schlussfolgerung, ist sie auch nicht relevant. Messbar und damit relevant sind nur Geschwindigkeiten des Lichts, die in Relation zu einem Bezugsobjekt bestimmt werden. Demzufolge muss sich die allgemein akzeptierte These, dass die Lichtgeschwindigkeit die höchste in der Natur vorkommende Geschwindigkeit sei, auf die relativen Geschwindigkeiten des Lichts beziehen, und zwar auf alle relativen Geschwindigkeiten gleichermaßen. Anders gesagt, es kann keine relative Geschwindigkeit des Lichts geben, die höher als die Lichtgeschwindigkeit ist. Dieser Gedanke wurde zum Ausgangspunkt der Speziellen Relativitätstheorie. Das sollten wir uns näher ansehen.

Die Naturwissenschaften sind bis heute von der Philosophie des Positivismus geprägt, dessen Grundüberzeugung besagt, dass nur das, was nachprüfbar mithin messbar ist, auch als relevant angesehen werden kann. Dieses Herangehen machte den Weg zu großen Fortschritten in den Wissenschaften frei, da in der vorangegangenen Periode oftmals wilde Spekulationen als Wissenschaft ausgegeben worden waren. Konsequenz dieses Herangehens ist jedoch, dass Erscheinungen, die nicht messbar sind, als nicht existent angesehen werden.

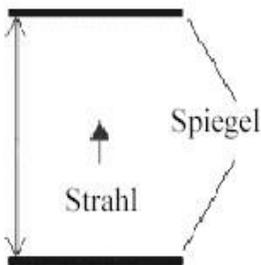
Für unsere Überlegungen betrachten wir einen Lichtstrahl, der sich fokussiert in eine Richtung ausbreitet. Nehmen wir an, ein Beobachter könnte diesen Lichtstrahl parallel, das heißt mit Lichtgeschwindigkeit, begleiten. Analog zu der weiter vorn beschriebenen Autoverfolgungsjagd müssten wir schlussfolgern,

dass sich der Lichtstrahl nicht vom Beobachter entfernt. Das heißt, in dem vom Beobachter mit dem Lichtstrahl gebildeten Bezugssystem wäre die relative Geschwindigkeit der beiden Protagonisten zueinander Null. Dies widerspräche jedoch der speziellen Relativitätstheorie. Die ihr zugrundeliegende Prämisse besagt, dass die relative Lichtgeschwindigkeit, das heißt, die im Verhältnis zu jedem beliebigen Objekt gemessene Geschwindigkeit des Lichts immer und überall gleich sei. Mit anderen Worten, „egal, wie schnell sie hinter einem Lichtstrahl herjagen, er entzieht sich ihnen mit Lichtgeschwindigkeit“ (Julian Schwinger, alle anderen Angaben im Quellenverzeichnis). Das klingt paradox. Noch deutlicher wird das Paradoxe dieses Ansatzes, wenn wir einen zweiten Beobachter zu unserer Betrachtung hinzunehmen. Der erste Beobachter soll dem Lichtstrahl mit Lichtgeschwindigkeit hinterherjagen, während der zweite Beobachter an Ort und Stelle verharrt. Das heißt, der erste Beobachter entfernt sich vom zweiten Beobachter mit Lichtgeschwindigkeit. Der Lichtstrahl, so die spezielle Relativitätstheorie, entfernt sich ebenfalls mit Lichtgeschwindigkeit von seinem Verfolger, dem ersten Beobachter. Das hieße, der Lichtstrahl müsste sich nun mit doppelter Lichtgeschwindigkeit vom verharrenden Beobachter entfernen. Das gilt jedoch als ausgeschlossen. Und nun?

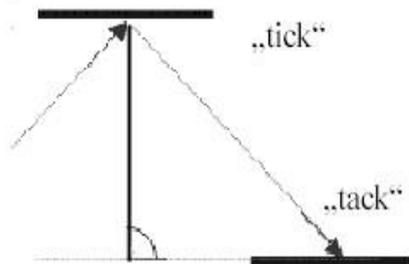
Wechseln wir zu einem anderen Gedankenexperiment, das im Zusammenhang mit der speziellen Relativitätstheorie häufig angeführt wird. In diesem Gedankenexperiment bedient man sich zur Messung der Zeit einer Lichtuhr. Durch deren einfache Konstruktion sind äußere und innere Einflussfaktoren weitgehend ausgeschaltet. Eine Lichtuhr besteht aus zwei parallelen Spiegeln, zwischen denen ein Photon hin- und herläuft. Jedes Anschlagen des Photons an einen der Spiegel sei eine Zeiteinheit. Es wird nun

die Frage gestellt, ob eine Bewegung der Uhr irgendeinen Einfluss auf die Zeitmessung haben wird. Würden eine stationäre und eine bewegte, das heißt gleitende Lichtuhr das gleiche Resultat der Zeitmessung erbringen?

stationäre Lichtuhr



gleitende Lichtuhr



Man betrachtet den Weg, den das Photon aus Sicht eines außenstehenden Beobachters zurücklegt. In der stationären Uhr ist es ein gerader vertikaler Weg A zwischen den beiden Spiegeln. In der bewegten Uhr kommt aus der Sicht des Beobachters zur vertikalen Bewegung des Photons die horizontale Bewegung der Uhr mit einem Betrag B hinzu. Aus der Summe beider Bewegungen resultiert eine Diagonale, die den Weg des Photons aus der Sicht des außenstehenden Beobachters beschreibt. Die Diagonale C , die das Photon von einer Berührung des Spiegels bis zur nächsten Berührung zurücklegen muss, ist länger als der vertikale Weg A . Da die Geschwindigkeit des Photons gleichbleibt, sein Weg aber länger wird, muss sich ein anderer Faktor verändern. Als solcher Faktor bliebe nur die Zeit. Das heißt, das Zeitintervall, in dem das Photon in der gleitenden Lichtuhr den Spiegel berührt, müsste länger werden, obwohl in der synchron laufenden stationären Uhr exakt ein Anschlag erfolgt.

Wie geht das zusammen? Noch einmal: Die stationäre Uhr macht einmal "tick/tack" und die gleitende Lichtuhr auch - zeitgleich, versteht sich. Der Weg, den das Photon in der stationären Uhr zurücklegt, entspricht dem errechneten Weg in Lichtgeschwindigkeit. Der Weg des Photons in der gleitenden Lichtuhr ist, wie wir gerade sahen, länger, die Geschwindigkeit des Photons bleibt jedoch gleich. Das Zeitintervall von "tick" nach "tack" ist für beide Uhren ebenfalls gleich, was ein Beobachter bestätigen würde. Um dem damit entstehenden Dilemma zu entgehen, postuliert die spezielle Relativitätstheorie, dass die Zeit in dem gleichen Zeitraum von "tick" nach "tack" in der gleitenden Lichtuhr langsamer gelaufen sein muss als in der stationären. Es wird also neben der gemessenen Zeit von "tick" nach "tack" noch eine "Geschwindigkeit" des Zeitverlaufs eingeführt. Das ist zweifellos revolutionär, erhält die Zeit damit quasi eine stoffliche Eigenschaft - eine Fließgeschwindigkeit.

Man könnte die gleitende Lichtuhr aber auch unter dem Aspekt zusammengesetzter Bewegungen betrachten. Bei der „Verlängerung“ des Weges, den das Photon in den Augen eines äußeren Beobachters zu bewältigen hat, treten nämlich genau genommen zwei Bewegungen in Erscheinung: die Bewegung der Uhr und die Bewegung des Photons. Beginnen wir mit der Bewegung der Uhr. Unser Beobachter befindet sich mit der Uhr in einem Bezugssystem, in ein und demselben definierten Raum. Nehmen wir unsere Überlegungen zu dem gleichmäßig dahinfahrenden Zug zur Hilfe, dann ist die gleitende Lichtuhr gewissermaßen der Zug. Ein Beobachter am Bahndamm sieht die Bewegung des Zuges in der Landschaft, die er auch messen kann. Wenn die Rollos geschlossen sind, kann er aber nicht sehen, was im Inneren des Zuges passiert. Bewegungen im Inneren des Zugs kann er nicht messen. Einem Beobachter der Lichtuhr kann

Ähnliches geschehen, zum Beispiel dann, wenn sich die Lichtuhr in einem geschlossenen Kasten befindet. Dann kann er die Bewegung der Photonen im Inneren weder sehen noch messen. Nur die Bewegung der Lichtuhr ist von seinem Standpunkt eine relative Bewegung, die er messen kann. Sie befindet sich mit ihm in einem Bezugssystem. Hinsichtlich der Bewegung des Photons innerhalb der Lichtuhr ist der Beobachter ein außerhalb stehender Dritter, der nicht zum Bezugssystem gehört. Wenn sich die Lichtuhr in einem geschlossenen Kasten befindet, kann er nicht einmal wahrnehmen, ob es in der Lichtuhr überhaupt eine Bewegung gibt.

Falls der Beobachter in die Lichtuhr hineinschauen kann und dort eine Bewegung registriert, muss er sich im Klaren sein, dass er die Bewegung innerhalb der Lichtuhr nur dann direkt messen kann, wenn er sich selbst in relativer Ruhe zu diesem Bezugssystem befindet. Dazu müsste er sich parallel zur Lichtuhr und mit der gleichen Geschwindigkeit wie diese bewegen. In diesem Fall würde er allerdings zu dem gleichen Messergebnis gelangen wie bei einer stationären Uhr. Wenn sich nun der Beobachter nicht vom Fleck rührt und trotzdem die Bewegung innerhalb der gleitenden Lichtuhr untersuchen will, muss er die Bewegung der Uhr und die Bewegung des Photons voneinander abgrenzen. Die Diagonalbewegung als Resultante beider Bewegungen könnte man als Sinnestäuschung bezeichnen, denn es werden zwei Bewegungen unterschiedlicher Bezugsebenen vermengt. Im Übrigen, ein Männlein auf dem Mars, das unser Experiment mit Interesse verfolgt, hätte neben der Bewegung des Photons und der Bewegung der Lichtuhr auch noch die relative Bewegung der Erde im Verhältnis zum Mars bei der Bewertung seiner Beobachtungen zu berücksichtigen. Die spezielle Relativitätstheorie macht hinsichtlich der verschiedenen

Bezugssysteme der Messungen jedoch keine Unterschiede. Ganz egal, von wo aus man die Geschwindigkeit des Lichts ermittelt, ob vom Mars, ob als stationärer Beobachter einer gleitenden Lichtuhr oder als sich parallel zur Lichtuhr bewegend, sie soll immer gleich groß, eben Lichtgeschwindigkeit sein.

Blicken wir an dieser Stelle noch einmal zurück auf unsere Überlegungen im Zusammenhang mit der Verbrecherjagd und der dazugehörigen Schießerei. Die Pistolenkugel erhält ihre Geschwindigkeit durch den Impuls, der von der Waffe ausgeht. Die Aufprallenergie in Bezug auf das parallel fahrende Auto wird genau von diesem Impuls bestimmt. Beim Aufprall der Kugel auf einen Baum am Straßenrand kommt zur Energie der Kugel jedoch die Energie, resultierend aus der Annäherung des Autos an den Baum, hinzu. Das heißt beim Aufprall addieren sich beide Energiemengen. Auf die Lichtuhr bezogen heißt das, würde das Photon aus der gleitenden Lichtuhr auf ein Hindernis treffen und seine Energie abgeben, dann wäre die durch das vom Hindernis aufzunehmende Energie gleich der Summe aus der Energie des Photons plus der Energie, die der Bewegung der Lichtuhr entspricht. Wenn man eine zusammengesetzte Bewegung in Bezug auf das Licht allerdings verneint, dann würde dies bedeuten, dass beim Zusammenstoß des Photons mit einem Hindernis, nur die Energie des Photons abgegeben werden würde, weil die Energie aus der Bewegung der Lichtuhr im Dogma der speziellen Relativitätstheorie "verschwunden" ist.

Diese Überlegung soll mit einem zugespitzten Beispiel weiter vertieft werden. Man nehme zwei Photonen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit, jedoch in entgegengesetzter Richtung, bewegen. Obwohl sich beide Photonen mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, entfernen sie sich nicht etwa mit doppelter Lichtgeschwindigkeit voneinander, sondern, nach der Speziellen

Relativitätstheorie, mit einfacher Lichtgeschwindigkeit. Verwundert reibt man sich die Augen. Ein Photon verkörpert ein bestimmtes Quantum an Energie, das durch seine Ausbreitungsbewegung und seine Frequenz in Erscheinung tritt. Die in unseren Überlegungen betrachteten Photonen sollen den gleichen Energiegehalt, das heißt, die gleiche Frequenz aufweisen. Der Teil ihrer Energie, der sich in ihrer Ausbreitung in Lichtgeschwindigkeit ausdrückt, sei „A“ genannt. Da wir zwei Photonen betrachten, entspräche die Energie ihrer Ausbreitung $2A$. Nach der Speziellen Relativitätstheorie entfernen sie sich jedoch nur mit einfacher Lichtgeschwindigkeit voneinander, so dass sich ihr Energiewert auf $1A$ reduziert. Das andere Quantum A ist verschwunden. Aber keine Sorge, betrachten wir die Bewegung unserer Photonen nicht mehr in Bezug zueinander, sondern in Bezug auf andere Objekte, dann taucht die Energie, wie aus dem Nichts, wieder auf. Sie wäre wieder $2xA$. Das würde heißen, Energie entsteht oder verschwindet, je nachdem wie wir sie betrachten. Aha!?

Einstein hatte die Existenz einer absoluten Geschwindigkeit des Lichts zusammen mit dem Äther verworfen und postuliert, nur relative Bewegungen des Lichts seien physikalisch relevant, da nur diese gemessen werden können. Richtig ist, dass nur relative Bewegungen des Lichts gemessen werden können, da man für das Messen einer Bewegung ein Bezugssystem braucht. Das gilt jedoch für alle Messungen. Messen ist immer ein Vergleichen verschiedener Objekte oder Sachverhalte in Bezug auf einen Maßstab. Mit dem Maßstab respektive dem Objekt, das den Maßstab trägt, bildet sich ein Bezugssystem, in dem die relative Bestimmung der zu untersuchenden Eigenschaften erfolgen kann. Die Existenz der Eigenschaften hängt jedoch nicht vom Bezugssystem ab oder davon, dass man sie messen kann oder

nicht. Man hat, zum Beispiel, den absoluten Nullpunkt nie gemessen, trotzdem wird niemand seine Existenz als Grenzwert bestreiten.

Unvermittelt sind wir wieder beim „Messen“. Das Verständnis dessen, was wir beim Messen machen, entpuppt sich mehr und mehr als eine grundlegende weltanschauliche Frage. Das wird auch bei einer anderen berühmten Theorie der Physik deutlich. Heisenberg hatte festgestellt, dass man deren Position und die Geschwindigkeit eines Teilchens, eines Elektrons in diesem Fall, nicht gleichzeitig genau bestimmen kann. Für seine Messungen hatte er die Teilchen mit Licht bestrahlt. Einige der Lichtstrahlen wurden durch die Teilchen gestreut, so dass man ihre Position erkennen konnte. Doch Licht beziehungsweise die Photonen bewegen sich zyklisch, so dass die Genauigkeit, mit der sich die Position des Teilchens bestimmen lässt, von der Frequenz des eingesetzten Lichts begrenzt wird. Um die Messgenauigkeit zu erhöhen, muss man Licht mit hoher Frequenz einsetzen. Je höher die Frequenz der Strahlung ist, desto höher ist jedoch auch ihr Energiegehalt. Die Energie, mit der das Licht auf das Teilchen trifft, beeinflusst wiederum die Bewegung des Teilchens. Sie wird verändert. Wollte man also die Geschwindigkeit des Teilchens genau messen, dann brauchte man eine möglichst energiearme Strahlung, das heißt Licht mit niedriger Frequenz.

Da haben wir es - ein klassisches Dilemma. Für die genaue Messung der Position braucht man energiereiche Strahlung und für die Messung der Geschwindigkeit eine energiearme. Wenn man beides gleichzeitig messen will, steht man vor einem unlösbaren Problem. Heisenberg verpackte dieses Dilemma in mathematische Konstrukte, mit denen sich das Verhältnis beider Unschärfen bestimmen ließ. Mit seiner Unschärferelation ging er in die Geschichte der Physik ein. Es blieb jedoch die Frage, ob es

sich bei der Unschärfe um die Begrenztheit der Messmöglichkeiten handelt oder ob die Natur selbst "unscharf" sei. Die Tatsache, dass sich die Position und die Geschwindigkeit eines Teilchens relativ genau bestimmen lassen, nur eben nicht gleichzeitig für dasselbe Teilchen, legt für mich die Vermutung nahe, dass das Dilemma der Unschärfe aus der Begrenztheit der Messmöglichkeiten resultiert.

Wir haben es hier allerdings mit einem grundsätzlichen Problem von Messungen in Grenzbereichen zu tun. Für eine Messung braucht man neben dem Maßstab immer ein Messverfahren beziehungsweise ein Messinstrument als Bezugsobjekt. Dieses Bezugsobjekt muss in seinen Eigenschaften etwas weitergehen, eine größere Bandbreite abdecken, als das zu Messende selbst. Zum Beispiel muss ein Thermometer, um Temperaturen von minus 40 Grad Celsius messen zu können, selbst in der Lage sein, in diesem Temperaturbereich vorherbestimmbar zu reagieren. Schlicht gesagt, seine Skala muss mindestens minus 41 Grad zulassen. Würde es bei minus 40 Grad Celsius enden, wüsste man nicht, ob beim Erreichen des Endpunktes der Skala dieser Wert das Messergebnis ist oder ob nicht ein anderes Ergebnis angezeigt würde, wenn es denn möglich wäre. An dieser Stelle drängt sich die Frage auf, wie man eigentlich Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt misst. Eine direkte Messung ist nicht möglich, da das Messinstrument in der Lage sein müsste, den absoluten Nullpunkt anzuzeigen, um ein zweifelsfreies Ergebnis zu erzielen. Da es keinem Stoff möglich ist, eine Temperatur von 0 Grad Kelvin anzunehmen, kann es kein Messinstrument geben, das diese Forderung erfüllt. Für Messungen im Bereich des absoluten Nullpunkts muss man daher physikalische Analogien heranziehen und entsprechende Berechnungen durchführen.

Zusätzliche Annahmen sind jedoch immer auch potenzielle Fehlerquellen.

Wie misst man eigentlich die Lichtgeschwindigkeit? Für eine direkte Messung würde man ein Messinstrument benötigen, das das Licht überholen kann. Es würde mit dem Licht starten und vor dem Licht an einem Messpunkt eintreffen. Dabei legte es exakt die gleiche Strecke wie das Licht bei durchgängig identischen äußeren Bedingungen zurück. Da die Geschwindigkeit des Messinstruments dokumentiert ist, könnte die Geschwindigkeit des Lichts im Vergleich zum Messinstrument ermittelt werden. Ein solches Instrument steht jedoch nicht zur Verfügung, da die Lichtgeschwindigkeit nicht übertroffen werden kann. Zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit bleiben auch hier nur Analogien und Berechnungen mit den ihnen immanenten möglichen Ungenauigkeiten. Das Heisenbergsche Problem ist, so gesehen, nicht grundlegend von den Problemen des Messens im Bereich des absoluten Nullpunkts oder der Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit verschieden. Eine direkte Messung ist in Grenzbereichen nicht möglich und jede indirekte Messung ist mit Ungenauigkeiten, mit einer "Unschärfe" behaftet. Das Verdienst Heisenbergs besteht vor allem darin, diese Unschärfe für sein Gebiet quantifiziert zu haben.

Wenn ich mir das so richtig überlege, dann sind nicht nur die Messungen in Grenzbereichen mit „Unschärfen“ behaftet. Alle Messungen weisen einen bestimmten Grad an Genauigkeit respektive Ungenauigkeit auf, der zum Beispiel aus der Unzulänglichkeit des Messverfahrens resultieren kann. Zudem sind die Umstände der Messungen nie absolut identisch, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse beeinträchtigt. Außerdem kann man nicht verhindern, dass sich diese Umstände während des Messvorganges verändern. Man muss sich also bei jeder Messung

darüber im Klaren sein, dass sie Ungenauigkeiten beinhaltet, auch wenn diese im Alltag nicht von Belang sein sollten. Um die Genauigkeit einer Messung zu erhöhen, müssen Fehlerquellen ausgeschaltet beziehungsweise deren Einfluss verringert werden. Auf diese Weise kann man sich einer absoluten Genauigkeit annähern, ohne sie jedoch jemals zu erreichen. Die Dezimalzahlen spiegeln diesen Zusammenhang wider. Man kann ihnen unendlich viele Stellen nach dem Komma anfügen und damit jede gewünschte Genauigkeit ausdrücken. Mit der Unendlichkeit der Stellen, die hinzugefügt werden können, machen sie gleichzeitig deutlich, dass eine absolute Genauigkeit nicht erreichbar ist.

In diesem Kontext fand ich folgendes Beispiel interessant. Man hat leistungsstarke Rechner in Stellung gebracht, um die Zahl Pi mit absoluter Genauigkeit zu ermitteln. Es wurden unvorstellbar viele Stellen nach dem Komma berechnet, ohne dass die Operation zu einem Ende gekommen wäre. Das heißt, die Genauigkeit der Berechnung von Pi ließ sich zwar steigern, aber eine abschließende Bestimmung war nicht möglich. Mit anderen Worten, niemand kennt die genaue Größe von Pi, trotzdem ist unstrittig, dass diese Zahl einen tatsächlichen Zusammenhang widerspiegelt, der durch unzählige praktische Anwendungen belegt ist. Für die Praxis spielt eine absolute Genauigkeit also keine Rolle, es kommt immer auf eine für den jeweiligen Zweck hinreichende Genauigkeit an. Der Fakt, dass man eine Größe nicht mit letzter Genauigkeit bestimmen kann, ist demnach kein Grund, deren Existenz zu verneinen.

Heisenberg hatte mit Elektronen gearbeitet, die als Teilchen galten. Man ordnete ihnen eine Masse zu. Max Planck hatte wiederum dargelegt, dass sich Licht und andere energetische Strahlung nicht als gleichförmiger Strom, sondern in Portionen, Quanten genannt, ausbreitet. Außerdem hatte man festgestellt,

dass die Quanten ganz verblüffende Eigenschaften haben müssen, denn sie formen in ihrer Gesamtheit einen Energiefluss, offenbaren gleichzeitig jedoch Eigenschaften von Teilchen. Das gilt auch für die Elektronen, die sich deshalb, so die These, einer genauen Bestimmung entziehen. Die Schlussfolgerung war, dass das Elektron nicht exakt bestimmt werden kann, weil es selbst in Ort und Zeit unbestimmt sei. Dieses unbestimmte Teilchen würde erst durch die Messung einzelner seiner Aspekte eine Bestimmung, eine bestimmte Existenz erhalten.

Das ursprüngliche Messproblem wurde auf diese Weise zum Naturphänomen. Mehr noch, der Messende avancierte zum Schöpfer, denn nur durch seine Messung erhielt das Teilchen seine Bestimmtheit. Dieser Ansatz erklärt allerdings weder die Grenzen der Messgenauigkeit noch das Wesen der energetischen Strahlung. Die offenen Fragen werden lediglich ins Reich des Unbestimmbaren verschoben, was Einstein im Streit mit seinen Kollegen zu der Bemerkung provozierte: "Gott würfelt nicht", mithin die Welt muss eindeutig sein.

Das Gleichgewicht der Kräfte

Bevor wir uns der Frage nach dem Gleichgewicht der Kräfte widmen, müssen wir klären, was Kräfte überhaupt sind und wie sie entstehen. Wenn man als interessierter Laie liest, was die Physik dazu vorlegt, dann ist man per Saldo erstaunt und wohl auch irritiert. Die Statements reichen von "wissen wir nicht", zum Beispiel in Bezug auf die Gravitationskraft, über Erklärungen unter Hinzuziehung virtueller Teilchen, die für die Kernkräfte verantwortlich sein sollen, bis hin zur Postulierung von "Scheinkräften". Wenn man das zusammenfasst, dann sind Kräfte also unerklärlich oder sie resultieren aus unwirklichen Teilchen

oder sie sind überhaupt nur scheinbar vorhanden. Das ist nicht sehr erhellend.

Wir hatten herausgearbeitet, dass unsere Welt aus Strukturen und Bewegungen besteht. Kräfte können sich demnach nur auf Strukturen und Bewegungen beziehen. „Strukturen“ ist ein höchst abstrakter Begriff. Er umfasst sowohl die Atome und ihre Bausteine wie auch jedwede Art der von ihnen gebildeten Verbindungen. Das können einzelne Moleküle genauso sein wie komplexe Strukturen. Als „komplexe Strukturen“ wird hier alles gefasst, was um uns herum existiert. In dieser Betrachtungsweise sind die Erde, unser Sonnensystem, die Galaxis und das Universum als Ganzes komplexe Strukturen. Allen Strukturen ist gemeinsam, dass sie eine äußere Form besitzen, durch die sie sich voneinander unterscheiden. Sie unterscheiden sich auch in der Art und der Anzahl ihrer Teile sowie in der Art und Weise, wie die Teile miteinander verbunden sind. Die Teile der Strukturen wie auch die Strukturen als Ganzes sind in Bewegung, wodurch sie sich verändern und gleichzeitig mit anderen Strukturen in Kontakt geraten. Nicht zu vergessen, dass alle Strukturen in einem bestimmten Raum und für eine bestimmte Zeit existieren.

Bei den Bewegungen hatten wir drei Arten unterschieden: Bewegungen innerhalb einer Struktur, Bewegungen der Strukturen um sich selbst und ihre Bewegung im übergeordneten Raum. Wenn sich eine Struktur auflöst, weil innere Turbulenzen sie sprengen, oder weil sie durch äußere Einflüsse zerstört wird, dann werden die Bestandteile der Struktur freigesetzt. Sie können sich nun samt ihrer Energie im Raum verbreiten, wobei ihre Bewegung um sich selbst und ihre inneren Bewegungen erhalten bleiben. Treffen sie bei ihrer Ausbreitung im Raum auf eine andere Struktur, dann kann es sein, dass sie mit ihrer Energie in dieser aufgehen. Die Photonen, die auf die Erde treffen, werden

dort größtenteils absorbiert, das heißt, sie werden mehr oder weniger dauerhaft in bestehende Strukturen eingebaut. Einige Strukturen können zusätzliche Energie nicht brauchen, sie wollen sie wieder loswerden, um ihr eigenes "stabiles" Dasein fortzusetzen. Doch, was geschieht, wenn die Abgabe überschüssiger Energie unter den gegebenen Bedingungen nicht möglich ist? Führt man einem Gas Energie zu, dann werden die Bewegungen der Gasmoleküle hektischer, das Gas dehnt sich aus. Befindet sich dieses Gas in einem Behälter, dann stoßen die Moleküle an die Wand des Behälters. Je mehr Energie zugeführt wird, desto heftiger prallen sie an diese Wand. Sie wollen raus oder wenigstens ihre Energie an den Behälter abgeben. Beides gelingt nicht. Druck entsteht, der bei weiterem Energiezufluss irgendwann den Behälter sprengen wird. Druck ist hier also eine Kraft, die aus der Bewegung der Gasmoleküle resultiert.

Nehmen wir ein anderes Beispiel. Ich drücke einen Bleistift mit der stumpfen Seite auf einen Radiergummi. Und nun? Ich habe dem Bleistift durch mein Drücken einen Bewegungsimpuls gegeben. Wenn da kein Hindernis wäre, würde dieser Impuls zu einer Bewegung des Radiergummis führen. Da ist aber ein Hindernis - die Tischplatte. Mein Impuls reicht nicht aus, um den Radiergummi und dann auch noch die Tischplatte in Bewegung zu setzen, zumal der Tisch nicht im Raum schwebt, sondern mit vier Beinen auf dem Boden steht. Der Radiergummi kann die Energie, die ich ihm zuführe, nicht in Bewegung umsetzen, aber auch nicht an andere weitergeben. Er verformt sich. Das heißt, die Kraft, die zur Verformung des Radiergummis führt, ist auch hier Resultat einer Bewegung, des Bewegungsimpulses, den ich dem Bleistift gab.

Druck entsteht aber nicht nur aus Bewegung, auch Masse kann Druck ausüben. Wenn ich mich in mein Bett lege, dann sinke ich

in die Matratze. Meistens springe ich nicht ins Bett und übe mit dieser Bewegung Druck aus, ich lege mich einfach langsam und müde hin. Es ist mein Gewicht, das Druck auf die Matratze ausübt und sie verformt. Mein Gewicht ist nicht ursächlich dem guten Essen geschuldet, wie man meinen könnte, sondern der Gravitation der Erde. Sie verleiht den Dingen Gewicht. Druck kann also das Ergebnis von Bewegungsimpulsen sein oder er entsteht durch das Wirken der Gravitationskraft. Genau genommen ist aber auch das Gewicht eine nicht realisierbare *Bewegung*, denn die Gravitation beschleunigt die Masse, sie gibt ihr einen Bewegungsimpuls hin zur Mitte des Planeten. In dem Moment, wo die so beschleunigte Masse auf ein Hindernis trifft, übt sie einen Druck auf dieses Hindernis aus. Diesen Druck bezeichnet man als Gewicht. Unter dem Strich ist also die "Kraft", die einen Druck erzeugt, *immer* eine unter den gegebenen Bedingungen nicht realisierbare Bewegung.

Es könnte sinnvoll sein, dass wir uns auch andere Kräfte unter diesem Aspekt anschauen. Da wäre zum Beispiel die Reibungskraft. Hinsichtlich der Reibung werden zwei Arten unterschieden - die Haftreibung und die Gleitreibung. Die Haftreibung beschreibt den Umstand, dass ein Tisch dort stehen bleibt, wo man ihn hinstellt. Er rutscht nicht etwa weg oder kullert durch den Raum. Ursache für seine Haftung ist sein Gewicht, das einen Druck auf den Untergrund ausübt und damit dessen Struktur in einem bestimmten Maß verformt. Auf diese Weise wird das Wegrutschen verhindert. Allerdings hatten wir bereits gesehen, dass das Gewicht keine eigenständige Kraft ist, sondern dass dessen Wirkung aus einer unterdrückten Bewegung resultiert. Nun zur Gleitreibung. Bei ihr ist als erstes ebenfalls das Gewicht zu nennen, das den Tisch in den Untergrund drückt. Außerdem wirkt noch eine Kraft, die den Tisch auf diesem

Untergrund verschieben will. Sie sollte, muss aber nicht, parallel zum Untergrund gerichtet sein. Natürlich handelt es sich auch hier nicht wirklich um eine Kraft, sondern um einen Bewegungsimpuls, den man dem Tisch zuführt. Der Tisch kann diesen Bewegungsimpuls nicht vollständig in eine horizontale Bewegung umsetzen, denn er "haftet" am Untergrund. Um diese Haftung zu überwinden, muss er auf seinem Weg ständig Strukturen verändern. Teile der Energie fließen auf diese Weise in die Strukturen, die an der Kontaktfläche des Tisches zum Untergrund liegen. Diese Strukturen wollen die ihnen zufließende Energie wieder abgeben, was zum Beispiel in Form von Wärme geschehen kann. Demnach sind Reibungskräfte keine eigenständige Wirkungsursache, sie resultieren, ebenso wie der Druck, aus der Energie von Bewegungen.

Wie ist das mit der Federkraft? Wenn man eine Spiralfeder auseinanderzieht, dann hat sie das Bestreben in ihre ursprüngliche Form zurückzuzschnellen. Die Matratze macht im Übrigen nichts anderes, nur langsamer. Auch andere Stoffe respektive Strukturen haben das Bestreben, in ihre ursprüngliche, stabile Form zurückzukehren. Wieviel Energie eine Struktur aufnehmen kann, indem sie sich verformt, ohne völlig zerstört zu werden, hängt von der Spezifik des jeweiligen Materials ab. Was hat dies aber mit der Federkraft zu tun? Noch einmal, ich ziehe an einer Spiralfeder und gebe ihr damit einen Bewegungsimpuls. Die Spiralfeder muss diese Energie aufnehmen, da sie am Ort verankert ist und sich nicht mitziehen lassen kann. Die Energie verformt die Feder, sie wird länger. Das Bestreben der Feder ist es, diese für sie unnötige Energie wieder loszuwerden, um in die alte, stabilere Form zurückkehren zu können. Wenn man die Feder loslässt, springt sie deshalb in ihr altes Dasein zurück. In diesem Prozess gibt sie die überschüssige Energie ab. Man könnte

weitere Beispiele anfügen, letztlich sind alle Alltagskräfte auf externe Energieimpulse oder das Wirken der Gravitation zurückführen. Ach ja, die Gravitation, die unerklärliche, sie scheint tatsächlich eine Kraft zu sein.

Manches ist in Wirklichkeit anders, als es scheint, weshalb Umstände oder Dinge, deren Wesen sich nicht auf den ersten Blick erschließt, als "scheinbar" bezeichnet werden. Auf diese Weise mag auch der Begriff der "Scheinkräfte" entstanden sein. Als Scheinkräfte bezeichnet man Phänomene, aus denen auf das Wirken einer Kraft geschlossen werden könnte, eine Vorstellung, die jedoch anderem „gesicherten“ Wissen widerspricht. Als Beispiel einer Scheinkraft wird gern die Trägheit angeführt. Wenn auf Erden ein Körper gleichmäßig, mithin "träge", einer Bahn folgt, dann scheint es so, als würden auf ihn keine Kräfte wirken, denn diese müssten zu einer Veränderung der Bewegung führen. Dieser Schein ist jedoch trügerisch. Wir wissen, dass Kräfte wirken *müssen*, damit dieser Körper in Bewegung und auf Kurs gehalten werden kann, weil er ständig Wirkungen ausgesetzt ist, die ihn ohne ein Korrektiv bremsen oder ablenken würden. Die Trägheit ist hier also Ausdruck eines Gleichgewichts von nicht nur scheinbar, sondern tatsächlich wirkenden Kräften. Im Weltall ist das übrigens völlig anders. Dort würde eine einmal initiierte Bewegung ohne jede Krafteinwirkung gleichbleibend oder "träge" fortgesetzt werden. Die „Trägheit“ braucht hier keine Kraft, im Gegenteil, eine Krafteinwirkung würde zur Änderung der Bewegung, zu deren Abbremsung, Beschleunigung oder Ablenkung, führen.

Die Zentrifugalkraft wird ebenfalls häufig als Scheinkraft bezeichnet. Warum eigentlich? Im Gegensatz zur Trägheit ruft die Zentrifugalkraft zweifellos eine reale Wirkung hervor. Jede Wäscheschleuder macht sich diese Kraft zu nutze. Schauen wir

uns das etwas genauer an. In rotierenden Systemen, das heißt in Strukturen, die sich um eine Achse herumbewegen, werden deren Bestandteile nach außen geschleudert. Diese nach außen gerichtete Wirkung wird als Zentrifugalkraft oder Fliehkraft bezeichnet. Die Stärke der Fliehkraft bekommt man zu spüren, wenn das Davonfliegen zum Beispiel durch eine Trommel verhindert wird. Die Trommel einer Wäscheschleuder verhindert, dass sich die feuchte Wäsche in der Wohnung verteilt. Sie lässt jedoch das Wasser entweichen, das außerhalb der Trommel aufgefangen und abgeleitet wird. Auf diese Weise werden Wasser und Wäsche getrennt. Die Rotationsbewegung der Trommel erzeugt also eine nach außen weisende Kraft, die sich als Druck der Wäsche auf die Wand der Trommel äußert. Wirkungsursache ist die rotierende *Bewegung* der Trommel. Eine andere Möglichkeit das Davonfliegen der rotierenden Teile zu verhindern, besteht darin, sie an den Rotationsmittelpunkt anzubinden. Im Alltag könnte man ein Seil oder eine Kette, wie bei einem Kettenkarussell, zur Hilfe nehmen. Durch die Kette werden die Sitze des Karussells mit dem sich drehenden Mittelteil verbunden, so dass sie nicht davonfliegen können. Sie werden aber nach außen geschleudert und umrunden den sich drehenden Mittelteil auf einer äußeren Bahn, die maximal senkrecht zur Achse verlaufen kann. In diesem Fall äußert sich die aus der Rotation resultierende nach außen weisende Kraft in der Zugwirkung, die die Sitze über die Kette auf die Verankerung im Mittelteil ausüben.

Für das Wirken von Zentrifugalkräften ließen sich viele Beispiele anführen. Dass sie trotzdem "Scheinkräfte" sein sollen, wird damit begründet, dass sie nur innerhalb des Systems, das heißt, innerhalb der rotierenden Struktur, messbar sind. Von außen betrachtet, scheinen die rotierenden Körper einfach nur träge

ihrer Bahn zu folgen. Das Vorhandensein einer Kraft ließe sich von außen nicht messen. Das ist allerdings nichts Besonderes, denn diese Feststellung trifft auf alle Messungen zu. Messungen sind immer nur innerhalb eines Bezugssystems möglich. Erinnerung sei noch einmal an das Beispiel des gleichmäßig dahinfahrenden Zuges und des am Bahndamm stehenden Beobachters. Der außen, das heißt außerhalb des Zuges, stehende Beobachter kann eine Bewegung innerhalb des Zuges nur dann erkennen, wenn er in den Zug hineinschauen kann. Ist dies nicht gegeben, zum Beispiel, weil die Rollos heruntergelassen sind, dann hat er keine Chance, eine Bewegung im Zug wahrzunehmen, geschweige denn diese zu messen. Wenn man die Bewegung von außen nicht messen kann, heißt das noch lange nicht, dass sie nicht existiert. Wenn der Beobachter am Bahndamm den mit seinem Tischtennisball spielenden Jungen im Zug nicht sehen kann, heißt das ja auch nicht, dass dieser spielende Junge nicht existieren würde. Er ist durchaus real und nicht etwa ein Junge, der nur *scheinbar* mit einem Tischtennisball spielt.

Wir können also getrost davon ausgehen, dass die Zentrifugalkraft eine reale Kraft ist, wie die Gravitationskraft auch. Die Gravitationskraft wirkt im Übrigen ebenfalls nur innerhalb der Struktur, die sie konstituiert. Nur innerhalb dieser Struktur, dieses Bezugssystems, kann man ihre Stärke ermitteln. Von außen kann man nur über Umwege auf ihr Wirken schließen. So lässt sich die Gravitationskraft von Planeten anderer Sonnensysteme von der Erde aus nicht bestimmen, da sie auf der Erde nicht als Wirkung registriert werden kann. Man kann jedoch Berechnungen auf der Basis der Wirkungen, die sie auf andere Planeten dieses Systems hat, anstellen, um zu einem Wert zu gelangen. Einstein hat deshalb die Gravitationskraft und die Zentrifugalkraft auf die gleiche Stufe gestellt und beide als

Scheinkräfte angesehen. Das ist immerhin konsequent. Doch auf diese Weise verflüchtigen sich die realen Zusammenhänge in eine Scheinwelt. Da die Gravitationskraft und die Zentrifugalkraft reale Wirkungen zeitigen, sollten wir beide auch als reale Kräfte betrachten.

Wenn wir die Gravitationskraft und die Zentrifugalkraft als reale Kräfte ansehen, sollten wir klären, wie sie zueinander stehen. Die Zentrifugalkraft ist in der Rotationsbewegung der Strukturen begründet. Ihre Wirkungsrichtung weist nach außen, das heißt, sie will alles hinausschleudern. Wenn da nichts wäre, das dieses Hinausschleudern verhinderte, dann würde die Zentrifugalkraft die rotierende Struktur zerstören. Es ist also eine Kraft vonnöten, die die Bestandteile der Struktur am Davonfliegen hindert, die der Zentrifugalkraft entgegenwirkt. Diese Kraft, die wie eine unsichtbare Kette die Teile der Struktur festhält und auf eine Umlaufbahn zwingt, ist die Gravitation. Die Gravitationskraft weist nach innen. Sie hält die Struktur zusammen. Wirkt ihr allerdings nichts entgegen, dann wird sie die Bestandteile der Struktur immer enger an den Mittelpunkt heranziehen. Die Räume würden sich immer weiter verengen, bis keine Bewegung mehr möglich ist. Das heißt, ohne eine Gegenwirkung führt die Gravitationskraft zur Erstarrung und damit zum Exitus der Struktur. Nur das gemeinsame Wirken von Gravitationskraft und Zentrifugalkraft gewährleistet den Zusammenhalt der Strukturen wie auch die Bewegung in ihrem Inneren. Beide Kräfte müssen sich in einem relativen Gleichgewicht befinden, damit die Struktur fortbestehen kann. Ist solch ein Gleichgewichtszustand hergestellt, dann mag es so scheinen, als ob keinerlei Kräfte wirken und die Beteiligten nur träge ihren Bahnen folgen. Doch dieser Schein ist trügerisch, wie wir nun wissen.

Wir haben jedoch noch keine Erklärung, woraus sich die Gravitationskraft speist. Bevor wir uns dieser Frage widmen, bleiben wir noch einen Moment bei unserem Sonnensystem. Die Sonne, die den größten Teil der Masse des Systems ausmacht, hält mit ihrer Gravitationskraft die Planeten fest. Gleichzeitig rotiert sie um sich selbst. Diese Rotation verursacht die in der Struktur wirkende Zentrifugalkraft, die die Planeten im Verein mit der Gravitationskraft in Umlaufbahnen um die Sonne zwingt. Beide Kräfte haben in diesem System zu einem Gleichgewicht gefunden, das auf der einen Seite das Ganze zusammenhält und das auf der anderen Seite verhindert, dass die Planeten in die Sonne stürzen. Für die Menschen war unser Sonnensystem lange Zeit die größte denkbare Struktur, tatsächlich ist es jedoch nur ein Tropfen im Meer der Milchstraße, unserer Galaxis. Die Galaxis ist nach den gleichen Prinzipien aufgebaut wie unser Sonnensystem. Es gibt ein Zentralgestirn, das sich um sich selbst dreht. Von ihm werden alle Sternensysteme, die zur Galaxis gehören, im Bann gehalten und in wie auch immer geartete Umlaufbahnen gezwungen. Je größer ein solches System ist, umso massereicher muss sein Mittelpunkt sein, damit die entstehende Schwerkraft einen ausreichend großen Raum abdecken kann. Gleichzeitig muss diese Struktur Fliehkräfte in vergleichbarer Dimension entfalten, um das Gleichgewicht der Kräfte und damit die Struktur selbst zu erhalten. Damit ist das Spiel aber noch nicht zu Ende, denn auch unsere Galaxis ist Bestandteil von etwas Größerem. Wir wissen, dass es viele weitere Galaxien gibt. Es wäre zu vermuten, dass sie alle von den Kräften, die von einer Zentralstruktur ausgehen, gehalten werden und so das Universum bilden. Bei der Entstehung des Universums scheint jedoch etwas schief gelaufen zu sein, denn es dehnt sich immerfort aus. Der mit dem Urknall gesetzte Impuls wirkt fort. Das kann nur heißen, dass ein Gleichgewicht der Kräfte nicht

zustande kam. Vielleicht kann man diesen "Unfall" aber auch als Zeichen dafür werten, dass dem Gigantismus der Strukturen natürliche Grenzen gesetzt sind.

An dieser Stelle wenden wir uns von den Weiten des Universums ab und blicken noch einmal in den Mikrokosmos. Die Frage ist, ob im Mikrokosmos die gleichen Grundsätze für den Aufbau und die Bewegung der Strukturen gelten wie im Makrokosmos. Derartige Analogien standen zu Beginn der systematischen Erforschung des Atoms übrigens hoch im Kurs. Man erinnere sich an die ersten Atommodelle mit dem runden Kern in der Mitte und den Elektronen, die wie Bällchen in festen Bahnen um diesen Kern kreisen. Es war wohl nicht zufällig, dass dieses Modell starke Ähnlichkeit mit dem Modell unseres Sonnensystems aufwies. Die weiteren Forschungen stellten solche Überlegungen allerdings mehr und mehr in Frage. Da sind zum Beispiel die Elektronen, die keine Teilchen im herkömmlichen Sinne sind. Die Geschwindigkeit, mit der sie den Kern umrunden, wird nicht in Jahren oder Tagen gemessen, sie geben vielmehr einen kaum vorstellbar schnellen Takt vor. Außerdem sind die verschiedenen Kernkräfte deutlich größer als es eine Gravitationskraft, berechnet in Relation zur Masse des Kerns, sein würde. Sind die Atome doch eine Welt für sich? Die Unterschiede sind unbestreitbar, es gibt aber auch Gemeinsamkeiten. Genauso wie im Makrokosmos ist auch im Mikrokosmos die Masse im Zentralgestirn, hier im Atomkern, gebündelt, während sich die Bewegungsenergie in den Trabanten, hier in den Elektronen, konzentriert. Im Makrokosmos haben die Trabanten allerdings selbst Masse. Zudem sind sie häufig Mittelpunkt einer eigenen Struktur, wie jene Planeten, die einerseits die Sonne umkreisen und andererseits selbst von Monden umrundet werden. Die

Trabanten des Atomkerns, die Elektronen, sind hingegen pure Energie. Sie haben selbst keine Bausteine und sie sind auch nicht Mittelpunkt, um den andere kreisen. Trotzdem müssen auch im Mikrokosmos die Strukturen zusammen- und in Bewegung gehalten werden.

Die zwischen den Elektronen und dem Atomkern wirkenden Anziehungskräfte werden als elektromagnetische Kräfte bezeichnet. Sie werden von den unterschiedlichen Ladungen der Protonen und Elektronen hergeleitet. Nur, was sind "Ladungen" eigentlich? Welcher Eigenschaft der Strukturen sollen wir "Ladungen" zuordnen? Das vorherrschende Charakteristikum des Kerns ist es, Masse zu sein; das dominierende Charakteristikum des Elektrons ist es, Energie zu verkörpern. Nur das Zusammenwirken beider Komponenten ermöglicht die Entstehung eines Atoms. Mehr noch, beide, also Masse und Energie, müssen sich in einem gewissen Gleichgewicht befinden, damit die Struktur, hier das Atom, dauerhaft existieren kann. Hat eine Struktur ein Manko hinsichtlich des energetischen Moments und eine andere einen Überschuss, dann könnten diese Strukturen womöglich ihre Probleme lösen, indem sie zusammenkommen. Haben beide einen energetischen Überschuss oder beide ein energetisches Manko, dann können sie nichts füreinander tun. Sie stoßen sich ab. Aber, wie hängt das Ganze mit den Kräften und der Wirkungsrichtung der Kräfte zusammen? Ein Überschuss an Energie bedeutet, dass die nach außen weisenden Kraftwirkungen überwiegen. Ein Energiemanko hat zur Folge, dass die Anziehungskräfte, also die nach innen weisenden Kraftwirkungen dominieren. In beiden Fällen ist die Stabilität der Struktur gefährdet. Haben nun zwei Strukturen entgegengesetzte Überschusskräfte, dann wirken diese in die gleiche Richtung. Die potenziellen Partner ziehen sich magisch an.

Haben sie dagegen gleichgerichtete Überschusskräfte, dann wirken diese gegeneinander. Diese Strukturen können nicht zueinander finden.

Damit hätten wir zwar eine Erklärung, warum sich einige Teilchen im atomaren Bereich anziehen, während sich andere abstoßend finden, aber die Frage, woher sie die Kraft für den Annäherungs- oder Abstoßungsprozess nehmen, ist noch offen. Wir wissen, dass der Atomkern einen Spin aufweist, aus dem Fliehkräfte erwachsen. Dass die Elektronen trotz der wirkenden Fliehkräfte den Atomverbund nicht verlassen, ist den ebenfalls vom Atomkern ausgehenden Anziehungskräften geschuldet. Soweit so gut. Doch, wo kommen die Anziehungskräfte her? Da das Neutron im Gegensatz zum Proton keine "Ladung" besitzt, von ihm also keine Wirkung nach außen ausgeht, können es nur die Protonen sein, die den Kern beziehungsweise das Atom zusammenhalten. Vielleicht kommen wir weiter, wenn wir uns die Unterschiede im Aufbau von Proton und Neutron anschauen.

Nach dem Standardmodell der Teilchenphysik bestehen Neutronen aus jeweils zwei down- und einem up-Quark, Protonen umgekehrt aus einem down- und zwei up-Quarks. Freie, das heißt, nicht in einem Atomkern gebundene Neutronen zerfallen. Bei einem solchen Zerfall des Neutrons wird eines der down-Quarks in ein up-Quark umgewandelt. Es entsteht ein Proton. Dabei werden ein Elektron und ein Anti-Neutrino, das heißt Energie, freigesetzt. Die Energie des Neutrinos ist darüber hinaus durch eine entgegengesetzte Bewegungsrichtung, deshalb Anti-Neutrino, gekennzeichnet. Im Unterschied zum zerfallenen Neutron ist das entstandene Proton stabil. Es bleibt die Frage, worin sich die Quarks, aus denen sie bestehen, unterscheiden, wenn sie nicht strukturiert sind, also keine Strukturelemente besitzen?

Quarks sind Energie pur. Energie drückt sich in Bewegung aus. Die Frage ist also, worin sich die Bewegungen der Quarks unterscheiden. Die Bewegung der Quarks wird als Spin beschrieben, als eine Drehung um sich selbst. Wieder entsteht die Frage, was sich da eigentlich dreht, wenn Quarks doch strukturlose Energie sein sollen. Die Dialektik kennt den Grundsatz, dass Inhalt und Form eine widersprüchliche Einheit bilden. Diese Erkenntnis könnte man in den Satz kleiden, dass es keine Form ohne Inhalt und keinen Inhalt ohne Form gibt. Auf unsere Fragestellung bezogen heißt das, die Quarks, die selbst keine Bestandteile haben, das heißt reine Energie darstellen, müssen trotzdem eine wie auch immer geartete Form ihrer Existenz besitzen. Da diese Form weder durch eine äußere Hülle noch durch innere Strukturteile gebildet werden kann, muss sie durch ihre Energie, durch die Bewegungen in ihrem Innern, entstehen. Durch diese Bewegungen erhält die „Energie“ eine Form, die die äußere Bewegung, den Spin, ermöglicht. Das wäre auch ein Erklärungsansatz für die ansonsten nur schwer fassbare Zwitterstellung dieser "Teilchen", die einerseits Portionen oder Quanten purer Energie sind, die andererseits aber auch Eigenschaften von Partikeln offenbaren. Zu diesen Energiepartikeln zählen neben den Quarks auch Elektronen, Neutrinos, Photonen und einige andere.

Der Spin der Quarks generiert Fliehkräfte. Von den Quarks muss jedoch noch eine zweite Wirkung, eine Anziehungskraft, ausgehen, damit sie ein Proton oder Neutron bilden können. Da die äußere Bewegung, der Spin, die Fliehkraft hervorbringt, bleibt für die Anziehungskraft nur ihre innere Bewegung als Ursache. Nehmen wir an, diese innere Bewegung sei eine wie auch immer geartete Verwirbelung. Die Verwirbelung von Energie kann, wie man weiß, einen Sog erzeugen. In unserem Fall hält dieser Sog die

sich verwirbelnde Energie zusammen, so dass die Quarks eine Form erhalten. Die von den Quarks gebildeten Protonen und Neutronen müssen ebenfalls durch beide Dimensionen der Bewegung charakterisiert sein. Zum einen verwirbeln sich die Quarks und erzeugen auf diese Weise einen Sog, zum anderen überträgt sich der Spin der Quarks auf das Proton beziehungsweise Neutron als Ganzes. Sind die entstehenden Kräfte im Gleichgewicht, ist der stabile Bestand des Teilchens gesichert. Im Neutron scheinen die auseinandertreibenden Kräfte jedoch geringfügig größer zu sein, wodurch sich der β -Zerfall erklären würde. In den Protonen sind offensichtlich die Sogkräfte größer, so dass sie nicht nur den Kern formen, sondern auch Elektronen in ihren Bann ziehen können. Da die Kraft des Sogs, der vom Kern ausgeht, mit der Anzahl der Protonen wächst, können größere Atomkerne mehr Elektronen binden.

Die Existenzgrundlagen der Strukturen, ein massereicher Mittelpunkt und dynamische Trabanten, die durch Anziehungs- und Fliehkräfte zusammen und in Bewegung gehalten werden, sind im Mikrokosmos also offensichtlich keine anderen als im Makrokosmos. Es bleibt die Frage, woraus die anziehenden Kräfte im Makrokosmos, das heißt die Gravitationskräfte der Gestirne, resultieren. Sie müssten in Analogie zum Mikrokosmos ebenfalls durch die Verwirbelung von Energie in ihrem Inneren entstehen. Und tatsächlich, ein gemeinsames Merkmal der Gestirne besteht darin, dass es in ihrem Inneren von Energie nur so brodelt. Je größer die Energiemengen sind, die sich da verwirbeln, umso größer kann auch die daraus erwachsende Sogwirkung respektive Gravitationskraft werden. Da die Energie im Innern der Gestirne an Strukturen gebunden ist, ist eine größere Energie auch mit einer größeren Masse verbunden. Insofern hat die Gravitationskraft einen Bezug zur Masse des Gestirns. Es

bedeutet aber auch, dass von Himmelskörpern, die im Inneren erloschen sind, keine Gravitationskraft ausgehen kann. Sie können auch keine Rotation aufweisen, denn diese hätte die jeweilige Struktur, ohne den Gegenpol der Gravitation, längst auseinandergesprengt. Solche Körper „geistern“, zum Beispiel als Asteroiden, durchs Weltall.

Da die Entstehung der Gravitationskraft von der Energie im Innern der Struktur abhängig ist, kann die Masse nicht ihre unmittelbare Bezugsgröße sein. Außerdem haben wir noch nicht geklärt, warum die Anziehungskräfte im atomaren Bereich deutlich größer sind, als es der Bezug zur Masse erwarten ließe. Gar nicht zu reden davon, dass das Proton und das Neutron, die eine vergleichbare Masse besitzen, ganz unterschiedliche Kräfte entfalten. Das heißt, die Anziehungskraft einer Struktur, kann nicht nur von der Energiemenge, die sich in ihrem Innern verwirbelt, abhängen. Ein weiterer determinierender Faktor muss hinzukommen. Dieser weitere Faktor kann nur durch die Art und Weise, *wie* sich die Energie im Innern der Struktur verwirbelt, begründet sein. Nehmen wir uns dazu noch einmal die Neutronen vor. Das Standardmodell der Teilchenphysik beschreibt die Neutronen als aus zwei down-Quarks und einem up-Quark bestehend. Damit vereinen die Neutronen nach den Berechnungen der Physiker mehr Energie in sich als die Protonen. Die Außenwirkungen der Neutronen müssten somit eigentlich stärker sein als die der Protonen. Das sind sie aber nicht. Die Ursache dieses Phänomens muss mit dem zweiten down-Quark zusammenhängen, das gern mal zerfällt. Beide down-Quarks werden mit dem gleichen energetischen Wert angegeben. Das heißt, die Dichte ihrer inneren Energie sollte sich nicht unterscheiden. Da sie sich aber verschieden verhalten, denn nur eines zerfällt, muss ihre innere Struktur, mithin die Struktur der

Bewegungen, aus denen sie gebildet werden, unterschiedlich sein. Während das eine down-Quark, das analog auch im Proton vorkommt, eine vergleichsweise konsistente Struktur aufweist, entpuppt sich das zweite down-Quark als Unruhegeist. Seine innere Struktur ist etwas chaotisch, mit Bewegungsanteilen, die der Hauptrichtung entgegengesetzt sind. Die unterschiedlichen Bewegungsanteile stören einander und vermindern die Außenwirkung des Quarks und in der Folge auch die des Neutrons. Wirkt keine genügend große Kraft, die diesen chaotischen Haufen zusammenhält, oder stören äußere Einflüsse den Gesamtzusammenhang, dann trennen sich die unterschiedlichen Bewegungsanteile des zweiten down-Quarks. Das Neutron wird zum Proton, wobei das nun überschüssige Elektron und ein Anti-Neutrino, das heißt, der Energieanteil, dessen Bewegung der Hauptrichtung entgegengesetzt ist, ihrer Wege gehen.

Es ist mir wichtig, aus den doch recht vielschichtigen Betrachtungen dieses Kapitels noch einmal folgendes herauszustellen: Wir hatten gesehen, dass Bewegungen, also Veränderungen im Raum, aus Punkten der Bewegungslosigkeit bestehen, die selbst keinen Raum besetzen, die in diesem Sinne raumlos sind. Hinsichtlich der Strukturen hatten wir festgestellt, dass sie eine Zeit haben, in der sie entstehen, sich verändern und vergehen. Sie selbst bestehen jedoch letztlich aus strukturlosen Partikeln, die deshalb weder entstehen noch zerfallen können, die in diesem Sinne zeitlos sind. Die Dinge und Erscheinungen erklären sich eben nicht nur aus sich selbst, sondern immer auch aus ihrem Gegenteil.



Yin und Yang

Yin und Yang sind Sinnbild für gegensätzliche Kräfte, die trotz dieser Gegensätzlichkeit zusammengehören. Sie müssen ein Gleichgewicht finden, denn sie können nicht ohne die jeweils andere Kraft existieren. Dieses Gleichgewicht ist nichts Statisches, etwa schwarze und weiße Blöcke, die sich starr gegenüberstehen, sondern die Kräfte greifen ineinander und ermöglichen auf diese Weise Dynamik. Diese Dynamik kann durchaus zu einem zeitweisen Übergewicht einer der Seiten führen. Sie müssen jedoch immer wieder zum Gleichgewicht zurückfinden, soll das Ganze überdauern. Darüber hinaus tragen die Gegensätze ihr Pendant in Form eines Punktes in sich. Schwarz ist irgendwo auch weiß und umgekehrt. Damit verdeutlicht das Bild von Yin und Yang einen dialektischen Zusammenhang. Es bezeugt gleichzeitig die Tradition dialektischen Denkens in China. Hier waren es allerdings vor allem Beobachtungen zu Gegensätzen im Leben der Menschen, wie dem Verhältnis von hart und weich, von hell und dunkel oder gut und böse, die zu solchen Überlegungen führten.

Unser Gegenstand ist weniger prosaisch, trotzdem spielt das Gleichgewicht der Kräfte auch für unsere Überlegungen eine überragende Rolle. Wir hatten gesehen, dass es zwei Kräfte sind, die die Bildung, Veränderung und Zerstörung von Strukturen bewirken: die Zentrifugalkraft und die Gravitationskraft. Die Zentrifugalkraft resultiert aus der Bewegung der Teilchen respektive Körper um sich selbst, die Gravitationskraft aus der Verwirbelung von Energie in ihrem Inneren. Die Gravitationskraft bewirkt den Zusammenhalt der Strukturen, die Zentrifugalkraft bewirkt, dass die Teile der Strukturen auf Abstand gehalten werden, so dass ihnen genügend Bewegungsraum bleibt. Beide

müssen zusammenwirken, damit die Struktur bestehen und in Bewegung bleiben kann. In einem Atom bindet die Anziehungskraft der Protonen die Elektronen an den Kern, sie ist gleichzeitig nicht so übermächtig, dass sie die Elektronen in den Kern hineinziehen könnte. Die Elektronen bleiben dank der Fliehkräfte auf einer Umlaufbahn und können auf diese Weise einen energetischen Gegenpol zu den Protonen bilden.

Die meisten Strukturen im Mikrokosmos wie auch im Makrokosmos sind nach diesem Prinzip aufgebaut. Sie besitzen einen Massemittelpunkt, der von Trabanten umrundet wird. Zusammen verkörpern sie ein Gleichgewicht aus Masse und Energie, das in letzter Konsequenz ein energetisches Gleichgewicht ist. Aus ihm resultiert ein Gleichgewicht der Kräfte, das für die Stabilität der Strukturen und die relative Gleichförmigkeit ihrer Bewegungen verantwortlich ist. Auf diese Weise mag der Eindruck entstehen, dass die Teile der Struktur "träge" ihren Bahnen folgen. Diese "Trägheit" ist jedoch Resultat der Kräfte, die in dieser Struktur gleichgewichtig wirken. Doch, nichts bleibt so, wie es ist. Unter den Strukturen gibt es einige, die verschwenderisch mit Energie um sich werfen, wie unsere Sonne, und andere, die alles aufsaugen, was in ihre Nähe kommt. Außerdem gibt es noch Vagabunden, die sich aus Strukturen herausgelöst haben und nun wie Geisterfahrer durchs Weltall irren. Manche von ihnen sind eher harmlos, wie Photonen und andere Energiepartikel. Problematisch wird es, wenn größere Brocken auf Kollisionskurs reisen und womöglich andere schlagartig aus ihrem Gleichgewicht reißen. Doch nicht nur äußere Faktoren verursachen Veränderungen, auch innere Prozesse können Auslöser von Veränderungen sein. Da jede Struktur Bestandteil einer übergeordneten Struktur ist, wird sich ihre Veränderung auch auf die übergeordnete Struktur

auswirken. Natürlich haben auch Veränderungen der übergeordneten Struktur Folgen für die Existenz ihrer Bestandteile. Wenn unsere Sonne eines Tages erlischt, spätestens dann ist auch für die Erde Schicht im Schacht. Unsere Galaxis oder gar das Universum als Ganzes werden davon jedoch kaum berührt werden. Unser Sonnensystem ist eine viel zu kleine Nummer, um im Universum Wellen zu schlagen. Allenfalls ginge ein leichtes Zittern durch den Raum, da sich mit unserem Sonnensystem ein Bestandteil seines Kräfte- respektive Wirkungsgefüges verabschieden würde, so dass sich eine Anpassung vollziehen muss.

In den riesigen Weiten des Universums geschehen ständig Veränderungen in den Strukturen und Bewegungen einzelner Teilsysteme. Daher geht ein ständiges "Zittern" als Ausdruck der mit ihnen verbundenen Anpassungen durch dessen Weiten. Dieses „Zittern“ ist, nicht zuletzt wegen der großen Entfernungen, die hier eine Rolle spielen, auf der Erde nur sehr schwach wahrnehmbar, so dass mit heutigen Mitteln eine differenzierende Messung kaum möglich ist. Vollziehen sich jedoch große Veränderungen, wird dieses "Zittern" stärker ausfallen, so dass es unter Umständen gemessen werden kann. Jedenfalls ist über die Messung derartiger Anpassungsprozesse berichtet worden. Den dafür verwendeten Begriff der Gravitationswellen halte ich für problematisch, da er eine Ursache suggeriert, die von Teilchen ausgeht und sich als Welle ausbreitet. Doch weder entsprechende Teilchen noch deren Schwingungen, die den Wellencharakter begründen würden, sind nachgewiesen. Fakt ist hingegen, dass sich Veränderungen im Universums vollziehen, die Anpassungen in seinem Kräfte- und Wirkungsgefüge zur Folge haben. Bisherige Beobachtungen bezogen sich auf eine Fusion von Neutronensternen beziehungsweise auf eine Vereinigung zweier

schwarzer Löcher. Doch, nicht nur die Konzentration von Massen, auch der umgekehrte Fall, die Auflösung einer starken Massekonzentration, sollte einen größeren und damit messbaren Anpassungseffekt verursachen.

Durch die Beobachtung solcher Anpassungsprozesse gewinnen wir Informationen über Veränderungen im Universum. Eine andere Informationsquelle zum Universum ist die Flut der bei uns eintreffenden Energiepartikel. Ohne die Photonen wüssten wir beispielsweise sehr wenig von dem, was im Weltall geschieht. Dabei sind sie äußerst uneigennützig. Treffen sie auf eine Struktur, dann bringen sie nicht nur Informationen mit, sie gehen in der Regel selbst in der neuen Struktur auf, so dass ihre möglicherweise schon Jahrmillionen andauernde Reise abrupt beendet wird. Eine solche Reise kann durchaus abenteuerlich sein, denn im Weltall lauern überall Gefahren. So sind Unmengen von Hindernissen im Weg, die den Energiepartikeln beim Zusammentreffen die Existenz kosten würden. Außerdem gibt es "Schwarze Löcher", die alles, was in ihren Einzugsbereich gerät, unweigerlich in ihrem Schlund verschwinden lassen. Manchmal können die Photonen einer sich abzeichnenden Kollision mit einem Giganten allerdings entgehen. Ein Stern, der mit sich und seinen Kräften im Reinen ist, saugt fremde Energie nicht wahllos in sich hinein. Wenn Energiepartikel allerdings direkt auf ihn zurasen, dann gibt es auch hier kein Entrinnen, sie werden absorbiert. Verläuft ihre Flugbahn jedoch in der Nähe des Sterns vorbei, dann kann es zwar sein, dass sie in die Reichweite seiner Kräfte eintauchen, aber durch ihre Geschwindigkeit und mit Hilfe der vom Stern ausgehenden Fliehkräfte können sie jedoch seiner Schwerkraft entkommen. Allerdings wird ihr Flug abgelenkt, ihre Flugbahn erhält eine Delle.

Bleiben wir noch einen Moment beim Gleichgewicht der Kräfte. Was passiert, wenn dieses Gleichgewicht gestört wird? Erst einmal nicht viel. Zeitweise Ungleichgewichte sind mindestens so selbstverständlich wie Zustände von Gleichgewicht. Die Betonung liegt auf "zeitweise", was einschließt, dass das System immer wieder in der Lage sein muss, ins Gleichgewicht zurückzufinden. Falls dies nicht möglich ist, weil die das Ungleichgewicht verursachenden Prozesse nicht umkehrbar sind, wird es irgendwann zum Kollaps der Struktur kommen. Sie zerbricht, wenn die Kräfte, die sie auseinandertreiben, dauerhaft dominieren oder sie fällt in sich zusammen, wenn die Sogkräfte das Steuer an sich reißen. Wenn ich über Beispiele für diese Prozesse nachdenke, fallen mir sofort wieder die „Schwarzen Löcher“ ein, die alles in sich hineinsaugen und Energie in Masse verwandeln. Das Universum als Ganzes dehnt sich hingegen permanent aus. In diesem Prozess werden Strukturen aufgelöst und Masse wird zu Energie. Das Verfeuern von Masse hat allerdings irgendwann ein Ende, nämlich dann, wenn es im Universum nichts mehr zu verfeuern gibt. Und dann?

Bevor wir uns der Frage nach Anfang und Ende des Universums widmen, müssen wir noch einmal kurz auf das Verhältnis von Masse und Energie zurückkommen. Wir hatten gesehen, dass alle Kräfte aus Bewegungen, das heißt aus Energie erwachsen. Ohne diese Kräfte gäbe es wiederum keine Strukturen, das heißt keine Masse. Gleichzeitig kann freie Energie nur aus Masse entstehen, aus der teilweisen oder völligen Zerstörung von Strukturen. Das eine bedingt das andere. Wenn Kräfte aus Bewegungen innerhalb von Strukturen resultieren, dann heißt das auch, dass dort, wo Bewegungen ersterben, auch die wirkenden Kräfte schwächer werden. Bei extrem niedrigen Temperaturen schwinden die Bewegungen, wodurch die Wirkung der in der Struktur

vorhandenen Kräfte abnimmt. Ein Stoff zeigt in diesem Zustand völlig neue Eigenschaften, Supraleitfähigkeit zum Beispiel. Ähnliches gilt auch, wenn die von außen zugeführte Energie die strukturellen Zusammenhänge auflöst und Plasmazustände entstehen. In beiden Fällen sind äußere Faktoren ursächlich. Innere Veränderungen können jedoch ebenfalls das Vergehen der Kräfte zur Folge haben. Wenn zum Beispiel die Gravitation übermäßig stark wird, dann kann das dazu führen, dass die Räume innerhalb der Struktur soweit verengt werden, dass Bewegungen kaum mehr möglich sind. Mit den Bewegungen schwinden jedoch auch die Kräfte. Steht andererseits dem Expansionsdrang der Teile keine ausreichende Kraft entgegen, dann wird er irgendwann die Struktur sprengen. Mit der Struktur vergehen auch die sie konstituierenden Kräfte.

Was hat das nun mit Anfang und Ende des Universums zu tun? Die Vorstellung eines *Zustands* unendlicher Dichte der Masse als Ausgangspunkt des Urknalls, macht keinen Sinn. Ein solcher Zustand müsste beinhalten, dass jegliche Bewegung erloschen und alle Strukturen zerquetscht wären. In einem solchen Fall wären jedoch auch die im Innern wirkenden Kräfte erloschen. Wo sollte dann die Dynamik des Urknalls hergekommen sein? Wahrscheinlich muss man es sich so vorstellen, dass dem Urknall ein *Prozess* der Konzentration von Masse vorausgegangen war, der tendenziell zu einem Schwinden der Strukturen und mit ihnen der Bewegungen führte. Dieses Schwinden wurde solange immer wieder hinausgezögert, solange neue Energie respektive Masse herangezogen und einverleibt werden konnte. Als ein derartiges Einverleiben von Masse und Energie nicht mehr möglich war, als nichts mehr da war, was einverleibt werden konnte, da wurde ein kritischer Punkt erreicht und die schier unendlich groß gewordene Gravitationskraft begann zu verlöschen. In dieser

extrem verdichteten Masse waren die Strukturen jedoch nicht gleichmäßig vernichtet worden. Hier und da war noch Bewegung möglich, gab es noch Energie, die zur Expansion drängte. Sie war bis dahin von der übermächtigen Gravitationskraft völlig paralysiert worden, bis, ja bis die Gravitationskraft erlosch. Des Korsetts entledigt, steigerte sich die Wirksamkeit der verbliebenen Energie und ihres Expansionsdrangs ins Unermessliche. Sie vermochte es, den fast strukturlosen Klumpen mit einem Urknall zu sprengen, so dass ein Meer sich chaotisch bewegender Energiepartikel entstand.

Diesem chaotischen Haufen von Energiepartikeln fehlte jedoch ein Massemittelpunkt, der sie zusammenhielt. Sie verbreiteten sich in alle Richtungen. Dies verringerte die Häufigkeit der Kollisionen, was die Entstehung von Strukturen ermöglichte, erst von kleineren, dann auch von größeren, so dass ein Universum entstand. Da sich kein Massemittelpunkt gebildet hatte, setzte sich die Expansion unablässig fort. Durch diesen Prozess vergrößerten und vergrößern sich die Abstände zwischen den Strukturen, so dass sich die Wirksamkeit der Kräfte, die sie zusammenhalten, immer weiter verringert und sich die Expansion beschleunigt. Die dafür erforderliche Energie muss durch die Umwandlung beziehungsweise Auflösung von Strukturen freigesetzt werden. Dieser Prozess wird irgendwann ebenfalls einen kritischen Punkt erreichen, diesmal einen Punkt äußerst geringer Dichte der Masse. Das, was übrigbleiben wird, ist jedoch kein homogener Brei von ungebundener und damit mehr oder weniger kraftloser Energie. Es wird hier und da Reste von Strukturen geben, deren eigentliche Schwäche im Umfeld allgemeiner Kraftlosigkeit zu großer Stärke erwachsen kann. Jedenfalls werden Kristallisationspunkte entstehen, an denen sich Masse und Energie erneut konzentrieren. Einer dieser

Konzentrationspunkte wird irgendwann alle Masse und Energie aufgesogen haben und dann selbst eine kritische Dichte erreichen. Voilà - ein neues Spiel kann beginnen.

Eigentlich ist mit Anfang und Ende des Universums der Schlusspunkt des Kapitels erreicht. Es gibt aber noch eine Begebenheit, die ich erzählen muss. Eines nachts, die Beschäftigung mit den Problemen aus dem Reich der Physik lag schon einige Monate hinter mir, wachte ich auf, weil sich in meinem Kopf eine Frage zum Verhältnis von Masse und Gewicht ungestüm nach vorn drängt hatte. Vergleichbares passiert mir höchst selten. Dass dieses nächtliche Ereignis noch dazu ein Thema betraf, das mich aktuell gar nicht beschäftigte, war erst recht erstaunlich. Was sich da nach vorn drängte war im Übrigen kein kruder Traum, sondern eine durchaus interessante Fragestellung, die mir bis dahin nicht aufgefallen war. Nach einer kurzen Zeit nächtlichen Grübelns bin ich erfreulicherweise wieder eingeschlafen. Am nächsten Morgen war, wie immer, wenig Zeit. Lediglich einige Notizen, damit ich die Frage nicht vergessen würde, konnte ich zu Papier bringen. Die Arbeit, also der Broterwerb, rief unerbittlich. Dort angekommen, begrüßte man mich mit der Nachricht, dass alle Systeme ausgefallen seien und wir uns mit Weiterbildung oder so beschäftigen sollten. Oh Wunder, mit einem Mal war Zeit, um aus den Erlebnissen der Nacht die Skizze für einen Artikel zu formen. Kaum war dies in aller Eile vollbracht, liefen auch die Systeme wieder an. Sollte dies ein Fußtritt des Schicksals gewesen sein? Bloß gut, dass ich nicht abergläubisch bin! Jedenfalls führte nun kein Weg mehr an der Fragestellung der Nacht vorbei.

Die Frage war, wieso die Dinge ein unterschiedliches Gewicht aufweisen. Wie jetzt, mag mancher denken, so eine Frage raubt dir den Nachtschlaf? Die Sache ist doch sonnenklar. Da die Dinge

eine unterschiedliche Masse haben, müssen sie auch ein unterschiedliches Gewicht aufweisen. Aber halt, so einfach ist das nicht, denn Gewicht ist keine Eigenschaft der Masse, wie die Besatzung jeder Raumstation zweifellos bestätigen wird. Im Weltall haben alle Massen gleichermaßen kein Gewicht. Gewicht wird den Dingen durch die Schwerkraft verliehen. Die Schwerkraft der Erde bewirkt ein Heranziehen aller Massen an den Planeten oder anders gesagt, sie verleiht ihnen einen Bewegungsimpuls in Richtung Erdmitte. Die Schwerkraft wirkt wiederum auf alle Massen gleich, was seinen Ausdruck in der gleichen Beschleunigung jeglicher Masse in ihrem Fall Richtung Erde findet. Wenn dieser Bewegung irgendwo ein Hindernis im Wege ist und sie sich nicht weiter realisieren kann, dann tritt diese nicht realisierbare Bewegung, mithin die Bewegungsenergie dieser Masse, als Kraft zutage. Wirkt diese Kraft auf eine Waage, dann können wir ihre Größe als Gewicht ablesen.

Nun wissen wir zwar, warum die Massen auf Erden Gewicht besitzen, aber warum ist dieses Gewicht für die einzelnen Massen unterschiedlich, wo doch die Schwerkraft auf alle Massen in gleicher Weise wirkt? Die Frage ist also doch etwas verzwickter. Fangen wir wieder bei den Atomen an, deren Hauptmassträger die Protonen und die Neutronen sind. In den Stoffen oder Dingen sind unterschiedlich viele Protonen und Neutronen versammelt, was ihre unterschiedliche Masse begründet. Allerdings haben auch Protonen und Neutronen aus sich heraus kein Gewicht, wie ihr Dasein im Weltraum beweist. Im Weltraum unterscheidet man die Massen mittels der Energiemenge, die erforderlich ist, um ihnen eine bestimmte Beschleunigung zu erteilen. Die Massen nehmen den Energieimpuls auf und setzen ihn in ihrer Bewegung um. Je mehr Energie für die gleiche Beschleunigung erforderlich ist, desto größer ist die beschleunigte Masse. Das erreichte

höhere Energieniveau bleibt wiederum solange erhalten, bis eine andere Masse respektive ein anderer Energieimpuls diesen Zustand ändert.

Im Weltraum gilt demnach, je mehr Masse eine Struktur besitzt, desto mehr Energie ist erforderlich, um die Struktur in ihrer Gesamtheit in einem bestimmten Maß zu beschleunigen, das heißt, ihr ein höheres Energieniveau zu verleihen. Gleiches muss vom Prinzip her auch auf Erden gelten. Die hier wirkende Gravitationskraft gibt allen Strukturen einen Impuls zur Bewegung in Richtung Erdmitte. Diese auf die Strukturen wirkende Energie ist für alle gleich. Je mehr Masse, je mehr Protonen und Neutronen, eine Struktur besitzt, desto größer ist die Energie, die diese Struktur aufnimmt, um in gleicher Weise wie alle anderen beschleunigt zu werden. Falls sich diese Energie wegen eines Hindernisses nicht realisieren kann, tritt sie wiederum als Kraft, als unterschiedlich große Kraft, mithin als unterschiedlich großes Gewicht in Erscheinung. Der Unterschied zu den beschleunigten Massen im Weltraum besteht eigentlich nur darin, dass auf Erden alle Strukturen zu jeder Zeit und in gleichem Maß einer energetischen Wirkung in Form der Gravitationskraft ausgesetzt sind und deshalb keine zusätzliche Energie aufgewandt werden muss, um die Unterschiede in den Massen zu bestimmen.

4. Leben

Nach der Frage, was die Welt im Innersten zusammenhält, ist es Zeit, dass wir uns mit dem Leben beschäftigen. Doch, was ist „Leben“ überhaupt und wie unterscheidet es sich von der unbelebten Natur? Ein Merkmal des Lebens ist die Fähigkeit, die Umwelt in der ein oder anderen Weise wahrzunehmen und das eigene Verhalten danach auszurichten, das heißt, sich *aktiv* anzupassen. Daran schließt sich die Frage an, wie diese Fähigkeit entstanden ist.

Wir hatten gesehen, dass alles in dieser Welt in Strukturen organisiert ist, die, genauso wie ihre Bestandteile, in Bewegung sind. Von diesen Bewegungen können Einflüsse auf andere ausgehen, sei es dadurch, dass Objekte zusammenstoßen oder dadurch, dass Bewegungen Ursache von Kräften werden, die andere in ihrem Dasein beeinflussen. Da die Kräfte eine begrenzte Reichweite haben, können sie nur eine begrenzte Zahl anderer Strukturen erreichen. Aus Sicht dieser anderen Strukturen gibt es demnach die Alternative, von einer bestimmten Kraft beeinflusst zu sein, oder nicht. Diese Unterscheidung ist für die Betroffenen eine Information. Das Wort „Information“ stammt aus dem lateinischen und bedeutet so viel wie formen, bilden, gestalten. Mit Hilfe von Informationen soll also geformt, gebildet, gestaltet werden. Das heißt, der Prozess der Information kann mit der Unterscheidung, ob eine spürbare Wirkung vorhanden ist oder nicht, noch nicht beendet sein.

Im Fall, dass eine spürbare Wirkung vorhanden ist, muss die betroffene Struktur sich ihr anpassen. Gelingt diese Anpassung nicht, kann das zu ihrer Zerstörung führen. Trifft ein Ball auf eine Fensterscheibe, so entsteht eine Wirkung auf diese Fensterscheibe, aber auch auf den Ball. Nun gibt es zwei

Möglichkeiten. Die eine Möglichkeit besteht darin, dass die Fensterscheibe die vom Ball aufgezwungene Energie kurzzeitig ertragen und schnell wieder abgeben kann. In diesem Fall bleibt sie uns erhalten. Der Ball wird, nachdem er leicht verformt worden war, zurückspringen und seine alte Form wiederherstellen. Die andere Möglichkeit verschafft dem Glaser Arbeit, denn die zerborstene Scheibe muss ersetzt werden. Der Ball wird in diesem Fall nicht zurückspringen, da seine Bewegungsenergie von der Scheibe genutzt wurde, um die Scherben im Raum zu verteilen.

Informationen haben demnach zwei Aspekte. Der eine, der ideelle Aspekt, besteht in der Feststellung, dass eine von außen kommende Wirkung vorhanden ist, während der andere, der materielle Aspekt, sich im Resultat dieser Wirkung zeigt. Dieses Resultat kann darin bestehen, dass die betroffene Struktur zerstört wird, wie die Fensterscheibe, oder sie verändert ihre Form, wie der Ball, der durch den Aufprall gequetscht wurde. Veränderungen können auch die Bewegung des beeinflussten Objekts betreffen, indem deren Tempo oder Richtung verändert wird. Ein Windstoß könnte die Flugbahn des Balls verändern, so dass uns die Fensterscheibe erhalten bleibt. Die in der einen oder anderen Weise beeinflusste Struktur wird nun auch in veränderter Weise auf andere wirken. Eine zertrümmerte Fensterscheibe ist nicht in der Lage, Kälte und Wind abzuhalten oder Licht zu reflektieren, was wiederum Auswirkungen auf Dritte, zum Beispiel auf die dort Lebenden, hat. Diese Dritten müssen nun ebenfalls reagieren. Jemand wird die Scherben auffegen und den Glaser bestellen müssen. Es entsteht eine Abfolge von Aktionen und Reaktionen, die einen immer breiter werdenden Strom kausaler Zusammenhänge gebiert. Das ist die materielle Seite von Wirkung und Anpassung. Für die ideelle Seite

ist festzuhalten, dass jede Anpassung an eine von außen kommende Wirkung gleichzeitig ein informationsverarbeitender Prozess ist, denn in der mit der Anpassung verbundenen Veränderung wird deren Ursache gleichsam gespeichert. Die zerborstene Fensterscheibe und der Ball werden als Beweise für die mageren Ballkünste des Nachbarjungen dienen. So gesehen, existieren informationsverarbeitende Prozesse auch in der unbelebten Natur. Im Übrigen, wenn dem nicht so wäre, könnte kein Handy eine Nachricht speichern. Doch, zurück zum „Leben“ und der mit ihm verbundenen besonderen Qualität der Informationsprozesse, der wir nun nachspüren wollen.

Die Entwicklung des Lebens und der es prägenden Informationsprozesse ist außerordentlich facettenreich. Wir müssen uns hier auf die großen Zusammenhänge fokussieren, weshalb Verkürzungen und Vereinfachungen unvermeidlich sind. Für ein tieferes Eindringen in die einzelnen Aspekte des Themas sei auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen.

Klein, aber oho!

Nirgends hat dieser Ausruf wohl mehr Berechtigung als in Bezug auf Mikroorganismen. Liest man Fakten zu dieser kleinsten Form des Lebens, dann weiß man nicht so recht, ob man nur staunen oder sich doch eher gruseln soll. Zum Staunen ist, dass unvorstellbare zwei bis drei Milliarden Arten dieser Lebewesen "unseren" Planeten bevölkern. Wir nehmen sie meist nicht wahr, am ehesten noch als Erreger von Krankheiten, wobei dies nur auf die wenigsten von ihnen zutrifft. Manche der von ihnen ausgelösten Krankheiten sind jedoch furchteinflößend, wie die Pest, die im 14. Jahrhundert innerhalb von gerade einmal vier Jahren ein Drittel der Menschen Europas dahinraffte. In den Jahren 1918/19 war es die "Spanische Grippe", die mehr

Menschenleben gefordert haben soll als der gesamte Weltkrieg davor. Auf der anderen Seite der Bilanz steht jedoch, dass wir auf Mikroorganismen angewiesen sind. Weder Pflanzen noch Tiere könnten ohne ihre Hilfe überleben.

Mikroorganismen sind meist Einzeller. Zu ihnen gehören Bakterien genauso wie einfache Pilze, Mikroalgen und Urtierchen. Man kann auch die Viren zu den Mikroorganismen zählen, was jedoch umstritten ist, da sie nicht über einen eigenen Stoffwechsel verfügen. Mikroorganismen kommen praktisch überall vor - in der Luft, im Wasser, in der Erde und natürlich in und auf anderen Lebewesen. Die Zahl der Mikroorganismen, die ein Mensch mit sich herumschleppt, schätzt man auf eine Billiarde. Damit übertrifft die Zahl der Mikroorganismen die Zahl der körpereigenen Zellen deutlich. Allein in einer Probe menschlicher Atemluft hat man 1800 Bakterienarten festgestellt. In den Ozeanen sollen bis zu 10 Millionen Arten leben. Wer hat die nur alle gezählt? Aber egal, ob es nun ein paar Millionen mehr oder weniger sind, feststeht, wir sind von ihnen umzingelt. Sie sind überall. Wie konnte das passieren? Nun, sie waren einfach als erste da. Die Erde ist zirka 4,6 Milliarden Jahre alt. Vor vielleicht 3,8 Milliarden Jahren traten die ersten Mikroorganismen auf. Vielzeller entwickelten sich vor ungefähr 600 Millionen Jahren und der "moderne" Mensch gar erst vor 130.000 Jahren. Die Mikroorganismen hatten also alle Zeit, diesen Planeten bis in die unwirtlichsten Nischen hinein zu besiedeln. Doch, wie mögen die ersten von ihnen entstanden sein?

In der Frühzeit der Erde, das heißt, in den ersten 500 Millionen Jahren nach der Entstehung des Sonnensystems, herrschte ein bemerkenswertes Chaos in demselben. Unmengen von Kometen jeder Größe schwirrten durch den Raum und stießen schon mal mit Planeten zusammen. Diese Kollisionen blieben nicht

folgenlos, denn die Kometen brachten eine Vielzahl von Stoffen mit. Die Atmosphäre der Erde, die anfangs vor allem aus Wasserstoff, Kohlendioxid und Schwefelwasserstoffen bestanden hatte, wurde mit Stickstoff, Ammoniak und Edelgasen angereichert. Außerdem hatten sich bei ihrer Entstehung Erze und Minerale gebildet, die nun im Erdmantel schlummerten. Das heißt, auf Erden hatte sich eine beachtliche stoffliche Vielfalt angesammelt. Irgendwann neigte sich die stürmische Frühzeit des Sonnensystems ihrem Ende zu und der Kometenhagel versiegte. Trotzdem verlief auf Erden noch lange nicht alles in geordneten Bahnen, denn es brodelte an allen Ecken und Enden. Die Luft war heiß, die Ozeane dampften, Landmassen bildeten und veränderten sich, überall schoss Lava hervor. Nicht nur die noch junge Erde war überaus aktiv, auch die Sonne glich einem Hexenkessel. Sie verschleuderte riesige Mengen an Energie in alle Richtungen. Den Energiestürmen konnte sich die Erde nicht entziehen, so dass atmosphärische Entladungen mit gewaltigen Blitzen und Blitzkaskaden an der Tagesordnung waren. Die ungebändigte Energie verursachte Bedingungen, unter denen sich immer neue stoffliche Strukturen bildeten, aber auch wieder zerstört wurden.

Im Ergebnis dieser Entwicklung waren unter anderem Nukleinsäuren und Aminosäuren entstanden, für deren Bildung günstige stoffliche Voraussetzungen existierten. Aus der Verbindung von Aminosäuren mit Metallen und Mineralen ging eine große Vielfalt von Eiweißen hervor. Diese Stoffe entstanden jedoch völlig willkürlich, das heißt sie bildeten sich irgendwann und irgendwo, existierten eine gewisse Zeit, um dann unter dem Einfluss der Umwelt wieder zerstört zu werden. Hinzu kam die stoffliche Vielfalt ihrer jeweils mehr oder weniger kurzen Existenz, so dass aus ihnen keine komplexeren Gebilde hervorgehen

konnten. Für eine solche Entwicklung hätte eine größere Zahl gleicher Verbindungen längere Zeit Bestand haben müssen. Unter den gegebenen Bedingungen konnte diese Voraussetzung nur entstehen, wenn die vorhandenen Moleküle in der Lage sein würden, sich aus eigenem Antrieb zu vervielfältigen. Eiweiße kamen für diesen Schritt nicht in Frage, da sie eine nur schwer kopierbare dreidimensionale Struktur besitzen. Nukleinsäuren sind einfacher aufgebaut, ihre Bausteine reihen sich fortlaufend aneinander. Außerdem haben ihre Bausteine die Fähigkeit sich gegenseitig anzuziehen. Zu dieser als Basenpaarung bekannten Eigenschaft kommt bei der Ribonukleinsäure (RNA) hinzu, dass einige ihrer Abschnitte die Abtrennung anderer Abschnitte des Moleküls bewirken können. Sobald sich ein RNA-Molekül auf diese Weise zerteilt, werden die Reste durch das Paarungsstreben der Basen wieder komplettiert, so dass zwei baugleiche Moleküle entstehen. Aber auch die sich verdoppelnden RNA-Moleküle wurden in der energiegeladenen Umwelt immer wieder zerstört. Sie brauchten, um überdauern zu können, einen Schutz, eine Hülle, die sie vor äußeren Einflüssen abschirmen würde. Diese Schutzhülle durfte keine undurchdringliche Mauer bilden, denn sie musste Stoffe, die für die Vermehrung erforderlich waren, passieren lassen und entstehenden Abfall nach außen leiten. Irgendwann fanden sich Stoffe, Fette vor allem, die diesen Anforderungen genügten. Die mit ihrer Hilfe umhüllte RNA wurde zu einem eigenen kleinen Kosmos, zu einer Zelle.

Für die Vermehrung der Zellen reichte es nun allerdings nicht mehr aus, nur die RNA zu kopieren, auch die Hülle und alle inneren Bestandteile mussten geteilt und verdoppelt werden. Damit waren neue Anforderungen an das Kernmolekül, die RNA, gestellt, denn es musste die dafür erforderlichen Prozesse koordinieren. Für die anstehende Vermehrung wurden außerdem

Baustoffe, vor allem Minerale und Metalle, gebraucht, die bevorratet werden mussten. Darüber hinaus musste ein gleichbleibend mäßiger Energiezufluss von außen gewährleistet sein, denn heftige energetische Schwankungen konnten zur Schädigung oder Zerstörung der entstandenen Zellen führen. Solcherart Bedingungen, das heißt ausreichend Baustoffe in unmittelbarer Nähe und ein moderater Energiezufluss, waren nicht überall gegeben. Man hat sie bei hydrothermalen Quellen am Boden der Tiefsee gefunden, weshalb diese heute als Kinderstube des Lebens angesehen werden.

Aus der obigen Schilderung könnte man den Eindruck gewonnen haben, dass die Entstehung des Lebens ein folgerichtiger, beinahe zwangsläufiger Prozess war. Das wäre jedoch ein Trugschluss. In Wahrheit verging ein unvorstellbar langer Zeitraum von mehreren hundert Millionen Jahren bis sich erste reproduktionsfähige organische Strukturen herausgebildet hatten. Unzählige Versuche scheiterten, entweder, weil das Ergebnis nicht ausreichend war, oder weil die entstandenen Strukturen in der energiegeladenen Umwelt wieder zerstört wurden. Nur über die Länge der Zeit und durch vergleichsweise günstige äußere Bedingungen war es möglich, dass Gebilde aus verschiedenen organischen Bausteinen entstehen konnten, die ein abgeschlossenes Ganzes bildeten und sich in Interaktion mit der Umwelt vermehrten.

Für die Interaktion mit der Umwelt braucht die Zelle Informationen. Will sie zum Beispiel Nährstoffe von außen aufnehmen, muss sie diese erst einmal erkennen, bevor sie sie ins Innere schleust. Gleichzeitig muss sie den zellinternen Abfall bemerken, um ihn nach außen zu befördern. Für die Gewinnung der dafür erforderlichen Informationen bildeten sich auf der Hülle der Zelle sensible Stellen, die in der Lage waren, das Auftreffen

entsprechender Stoffe zu registrieren. Durch das Auftreffen eines solchen Stoffes entsteht ein Reiz, der die Schleuse ins Innere beziehungsweise nach außen öffnet. Dieser Vorgang unterscheidet sich nicht grundsätzlich von der Informationsverarbeitung in der unbelebten Natur, denn auch hier führt eine äußere Wirkung unmittelbar zu einer vorherbestimmten Reaktion. Anders als in der unbelebten Natur kann die Zelle jedoch auf unterschiedliche Reize reagieren. Sie verkörpert also sowohl hinsichtlich der Komplexität ihrer Struktur als auch hinsichtlich ihrer Fähigkeit zur Interaktion mit der Umwelt eine neue Qualität.

Für die weitere Entwicklung des Lebens war eine stete Vermehrung der Zellen unabdingbar. Diese war davon abhängig, dass die dafür notwendigen Stoffe genau in der Form aufgenommen werden konnten, die benötigt wurde. Durch die Vielfalt und Komplexität der Eiweiße war die Wahrscheinlichkeit, diese in unmittelbarer Nähe und dann auch noch in ausreichender Menge vorzufinden, nicht sehr groß. Nur, wenn die Einzeller in der Lage wären, die wichtigsten komplexen Eiweiße selbst aus den in der Umwelt vorhandenen Baustoffen zu synthetisieren, würde eine neue Situation entstehen. Die Synthese komplexer Eiweißmoleküle ist jedoch ein komplizierter Prozess, für den mehrere aufeinanderfolgende Schritte erforderlich sind. Zur Einleitung der verschiedenen Syntheseschritte wurden Stoffe benötigt, die die erforderlichen Reaktionen veranlassen konnten. Einige einfache Eiweiße, Enzyme genannt, wurden zur Lösung des Problems. Diese Eiweiße werden auf Veranlassung der RNA in einer solchen Reihenfolge bereitgestellt, dass die daraus resultierende Abfolge von Wirkungen und Reaktionen schlussendlich zum Aufbau der erforderlichen komplexen Eiweiße führt. Der Bauplan dieser

Enzyme, wie auch die zeitliche Abfolge ihrer Bereitstellung, musste dazu in der RNA vorgehalten, mithin gespeichert sein. Man kann die Enzyme als Werkzeuge der RNA begreifen, denn sie werden von ihr für die Synthese der erforderlichen komplexen Eiweiße eingesetzt. Man kann sie aber auch als Boten der RNA verstehen, denn ihr Aufbau genauso wie der Zeitpunkt ihrer Aktivierung verkörpern Informationen zu Teilprozessen der Vermehrung.

Nun stand einer schnellen Vermehrung der Einzeller nichts mehr im Wege, sie wurde sogar zu ihrem Markenzeichen. Eine schnelle Vermehrung kann jedoch zu Fehlern führen, vielleicht, weil der Bauplan nicht exakt kopiert wurde, weil die Baustoffe nicht wie erforderlich zur Verfügung standen oder weil beim Aufbau der Eiweiße nicht alles nach Plan lief. Darüber hinaus konnten Einflüsse von außen Fehler verursachen. Die meisten der fehlerbehafteten Einzeller waren nicht überlebensfähig, einige von ihnen mögen jedoch besser als ihre Vorgänger mit den gegebenen Bedingungen zurechtgekommen sein. Jedenfalls gelang es den Mikroorganismen sich unter beinahe allen Bedingungen zu behaupten und den gesamten Planeten zu besiedeln. Ein gemeinsames Merkmal der in dieser Phase entstandenen Mikroorganismen war, dass sie ohne Sauerstoff auskamen, denn der stand nicht zur Verfügung. Man bezeichnet sie deshalb als anaerob. Die anaeroben Mikroorganismen wurden zu unumstrittenen Herrschern des Planeten, und dies für den unvorstellbaren Zeitraum von beinahe einer Milliarde Jahren.

Immer nur auf Energiequellen aus dem Erdinnern angewiesen zu sein, war jedoch lästig, zumal mit dem Sonnenlicht eine andere Energiequelle zur Verfügung stand. Einige Mikroorganismen fanden dann auch einen Weg, diese für sich nutzbar zu machen. Die Cyanobakterien waren mit der Photosynthese besonders

erfolgreich, nicht zuletzt, weil sie dafür lediglich Wasser und Kohlendioxid benötigten, die beide ausreichend vorhanden waren. Bei der Photosynthese, wird jedoch Sauerstoff freigesetzt, der über die Jahrmillionen die stoffliche Zusammensetzung des Wassers und der Luft veränderte. Dumm nur, dass Sauerstoff den anaeroben Lebewesen nicht zuträglich ist. Die bahnbrechende Neuerung der Cyanobakterien wurde den anaeroben Mikroorganismen letztlich zum Verhängnis, in dessen Folge sie gezwungen waren, das Feld den sauerstoffliebenden Genossen zu überlassen. Sie selbst zogen sich in unwirtliche Gegenden wie Sedimente und Schlämme zurück. Später besiedelten sie auch so beschauliche Flecken wie die Gedärme von Menschen und anderem Getier. Trotzdem zählen anaerobe Mikroorganismen auch heute noch mehr Arten als alle höheren Lebewesen zusammen.

Die Gewinner der Veränderungen waren die sauerstoffliebenden Mikroorganismen. Sie vermehrten sich nicht nur rasant, sie entwickelten auch immer neue Fähigkeiten, so dass mit der Zeit eine große Artenvielfalt entstand. Da manche Mikroorganismen bald über mehrere solcher Fähigkeiten verfügten, wurden die Informationen, die im Zuge der Vererbung an die Nachkommen weitergegeben werden mussten, immer komplexer. Dabei stellte sich heraus, dass das RNA-Molekül recht anfällig gegen Wirkungen von außen ist, so dass komplexe Informationen oft nicht fehlerfrei an die Nachkommen weitergegeben werden. Die Desoxyribonukleinsäure (DNA) war besser geeignet, komplexe Informationen zu bewahren, jedenfalls waren Organismen, die die DNA zur Weitergabe ihres Bauplanes nutzten, bald erfolgreicher bei der Eroberung neuer Lebensräume. Gefahr drohte aber nicht nur von außen. In der Zelle waren mittlerweile vielfältige Bestandteile vorhanden, die Wirkungen auf andere,

also auch auf die Erbinformationen, ausübten. Der Stoffwechsel sorgte ebenfalls für Gefährdungen, so dass es irgendwann erforderlich wurde, die Erbinformationen gesondert zu schützen, sie mit einer eigenen Hülle zu umgeben. Ein Zellkern bildete sich heraus.

Mikroorganismen brauchen für ihre Lebensprozesse, darunter für die Vermehrung, eine Vielzahl von Stoffen, die sie aus der Umwelt aufnehmen müssen. Nur, was macht man, wenn diese Stoffe in der unmittelbaren Umgebung knapp werden? Dann muss man sie an anderen Orten suchen. Einige Arten bildeten an ihrer Hülle Ausstülpungen, die sie bewegen konnten. Durch solche Bewegungen entstehen kleine Wellen, auf denen die Zelle davonschweben kann. Für die Bewegung der Ausstülpungen ist Energie erforderlich, die innerhalb der Zelle vorgehalten werden muss. Stoffe, in denen freisetzbare Energie gespeichert ist, sind ein rares Gut, weshalb ihr Einsatz auf solche Situationen begrenzt bleiben musste, die einen Ortswechsel tatsächlich notwendig machten. Das heißt, die Zelle brauchte Sensoren, die einen Mangel im Innern anzeigen konnten und Sensoren, die auf außen vorhandene Nährstoffe reagierten. Ist ein Mangel angezeigt und trifft ein Atom oder Molekül eines solchen Stoffs auf den äußeren Sensor, dann muss dieser veranlassen, dass sich die Ausstülpungen so bewegen, dass die Zelle möglichst viele dieser Stoffe aufnehmen kann. Zwischen dem Sensor, der die Nährstoffe registriert, und den Ausstülpungen, die reagieren sollen, besteht jedoch eine räumliche Distanz. Das heißt, die im Sensor angefallene Information muss irgendwie weitergeleitet werden, um in einer Aktion der Ausstülpungen zu münden. Dafür wird ein Stoff benötigt, der die Information, einem Boten gleich, weiterträgt und der darüber hinaus beim Adressaten die erforderliche Reaktion auslöst.

Im Laufe ihrer langen Geschichte haben die Einzeller eine große Vielfalt solcher Botenstoffe hervorgebracht. Ihr gemeinsames Merkmal ist, dass sie durch einen Impuls von außen entstehen, um zu einem vorherbestimmten Empfänger auf den Weg gebracht zu werden, wo sie eine ebenfalls vorherbestimmte Reaktion auslösen. Die Ausbildung neuer Fähigkeiten war jeweils davon abhängig, dass für die anstehende Aufgabe ein entsprechender Botenstoff gefunden wurde. Man könnte die Entwicklung des Lebens daher auch als Geschichte der Botenstoffe schreiben. Die Einzeller leisteten hier ganze Arbeit. Sie brachten Botenstoffe hervor, die innere Prozesse regulieren und solche, die die Nutzung von Informationen aus der Umwelt ermöglichen, sie schufen Lösungen, um Sonnenenergie aufzunehmen und in körpereigenen Strukturen zu speichern und diese bei Bedarf wieder freizusetzen und sie erlangten die Fähigkeit, sich aus eigener Kraft fortzubewegen. Außerdem waren sie in der Lage, Artgenossen durch Moleküle, die diese absondern, zu erkennen, so dass sie sich zu Kolonien Gleichartiger zusammenfinden konnten.

Groß, größer, am größten

Klein war gestern. Nun hatten die Großen das Sagen. Je größer, desto besser, schien die Losung zu sein. Wie hatte doch alles so beschaulich begonnen. Viele kleine unsichtbare Wesen hatten die Welt, respektive die Meere bevölkert. Irgendwann hatten einige, vor allem Cyanobakterien, die Energie der Sonnenstrahlung für sich entdeckt. Um Sonnenlicht zu erhaschen, mussten sie aus der schützenden Tiefe der Gewässer auftauchen und sich in der Nähe der Oberfläche tummeln. Das taten sie nicht jede für sich allein, sie bildeten Kolonien, in denen sie sich im Überlebenskampf unterstützen konnten. In diesen Verbänden waren auch andere Einzeller zugelassen, solange sie dem Ganzen nicht schaden,

ihm vielleicht sogar nützlich waren. Einige von diesen waren größer und robuster, so dass sie Aufgaben übernehmen konnten, für die den Cyanos die Voraussetzungen fehlten. Als Gegenleistung für ihre Dienste erhielten sie Energie in Form von Zucker.

Doch, warum sollten die Großen die Energieversorgung nicht in die eigenen Hände nehmen? Dafür mussten sie nur eine dieser Cyanobakterien in den eigenen Zellaufbau integrieren. Es spricht vieles dafür, dass auf diese Weise größere Bakterien mit eigener Photosynthese entstanden, die wir heute als Grünalgen bezeichnen. Die Zellverbände der Cyanobakterien brachten aber noch eine andere Neuerung hervor, denn ein Teil der Einzeller trennte sich im Zuge der Vermehrung nicht mehr völlig voneinander. Vielleicht war es die räumliche Enge in den Kolonien, vielleicht war auch einfach die Kooperation auf diese Weise effektiver, inmitten der Zellverbände entstanden jedenfalls mehrzellige Gebilde.

Die Bedeutung dieser Entwicklung kann man kaum überschätzen, schuf sie doch die Grundlage für die spätere Herausbildung von Flora und Fauna. Die verbundenen Zellen bildeten mit der Zeit ein neuartiges Ganzes, das dadurch charakterisiert war, dass sich einzelne Zellen oder Zellgruppen auf bestimmte Aufgaben spezialisierten und so zur Versorgung oder zum Schutz des Ganzen beitrugen, von dessen Wohlergehen sie gleichzeitig abhängig wurden. Damit eine Spezialisierung zu einem erfolgreichen Miteinander werden kann, müssen die Zellen miteinander kommunizieren. Für die Steuerung der Prozesse im Innern der Zellen hatten sich Botenstoffe bewährt, sie wurden nun auch zur Basis der Kommunikation zwischen ihnen. Ein bestimmter Reiz führte nun jedoch nicht mehr unmittelbar zu einer Reaktion jener Zelle, die die Information aufgenommen

hatte, die Information musste erst an die für die Reaktion zuständige Zelle des Verbunds weitergeleitet werden, bevor eine Reaktion erfolgen konnte. Trotz dieser Schwierigkeit waren die mehrzelligen Wesen so erfolgreich, dass sie bald in hoher Dichte durch die Meere waberten. Für die Photosynthese mussten sie allerdings einen Platz nahe der Wasseroberfläche finden, und der wurde knapp. Auf das Festland auszuweichen, war keine Lösung, denn der lebensfeindliche Ultraviolettanteil des Lichts, der im Wasser in Teilen absorbiert wurde, entfaltete an Land eine tödliche Wirkung. Dieses Problem sollte sich jedoch wie von selbst erledigen. Das Sonnenlicht wandelte nämlich den von den Cyanobakterien und den Grünalgen freigesetzten Sauerstoff in den höheren Schichten der Atmosphäre zu Ozon um, der nun, einem Schirm gleich, vor den tödlichen Strahlen schützte, so dass der Eroberung des Festlands bald nichts mehr im Wege stand.

Was hier so kurz erzählt daherkommt, nahm allerdings einige Zeit in Anspruch. Mehr als eine Milliarde Jahre vergingen, bis aus Cyanobakterien Grünalgen geworden waren, und dann noch einmal eine halbe Milliarde Jahre bis komplexe Mehrzeller entstanden. Ehe einer dieser noch immer winzigen Vielzeller als Urahn der Landpflanzen in die Geschichte eingehen konnte, sollten nochmals Millionen von Jahren vergehen. Man nimmt heute an, dass es Nachfahren besagter Grünalgen waren, die sich als Pioniere dieses Prozesses hervortaten. Einige von ihnen hatte es wahrscheinlich durch Überschwemmungen oder andere Ereignisse in die Seen und Tümpel des Festlands verschlagen. Dort mussten sie immer wieder mit langen Trockenzeiten zurechtkommen. Überleben konnte nur, wer in der Lage war, den Organismus vor Flüssigkeitsverlust zu schützen, weshalb sich diese Grünalgen eine transparente Hülle aus Wachsen und fetthaltigen Substanzen zulegten. Doch, woher sollten die Algen

Nährstoffe nehmen, wenn ihr eigentliches Lebenselixier, das Wasser, zum knappen Gut geworden war? Vielleicht haben sie Nährstoffe aus der Luft oder aus der sie umgebenden Restfeuchte gezogen, vielleicht hatten sie aber auch Helfer, Pilze zum Beispiel, die ihnen beistanden. Die Ahnen der Pilze stammten ebenfalls aus dem Meer. Man kannte sich und hatte in den Zellkolonien schon Erfahrungen miteinander gesammelt. Da Pilze lange Zellfäden bilden, mit denen sie sich relativ große Flächen für die Nahrungssuche erschließen, konnten sie dem Verbund Nährstoffe liefern, die für Cyanobakterien oder Grünalgen nicht erreichbar waren. Für ihre Dienste wurden sie mit Zucker entlohnt. Um eine solche Zusammenarbeit auf dem Trockenen fortzusetzen, mussten die Pilze die Nährstoffe allerdings vom Boden aufnehmen. Da an dessen Oberfläche nicht viel zu holen war, stießen sie ins Erdreich vor. Die Grünalgen halfen ihnen, indem sie sich mit ihrem Korpus im Erdreich verankerten und ihnen so den Weg bereiteten. Für diese Annahme spricht, dass noch heute neun von zehn Pflanzen in einer vergleichbaren Symbiose mit Pilzen leben.

Wie dem auch sei, vor rund 480 Millionen Jahren begann die Begrünung des Festlands. Es waren vor allem Moose, Nachfahren der Algen, die diesem Prozess zu großem Tempo verhalfen. Ebenso wie die Algen bilden auch Moose Sporen, die aber nicht durch das Wasser, sondern vor allem mit Hilfe des Winds, und dadurch schneller und weitflächiger, verteilt werden. Treffen Sporen auf nährstoffreichen Boden, können sich neue Pflanzen bilden. Die neuen Pflanzen sind Klone, das heißt, ihr Erbgut gleicht dem der Mutterpflanze bis ins Detail. Diese Art der Fortpflanzung ist sehr effektiv. Sie hat den Nachteil, dass sich Veränderungen im Erbgut, die für die Anpassung an andere Umweltbedingungen erforderlich sind, nur über Mutationen vollziehen können. Damit

sind sie vom Zufall, dass ein „passender“ Fehler auftritt, abhängig. Dieses unsichere Prozedere konnte an Land, wo Naturgewalten und Klimaschwankungen zu relativ häufigen Veränderungen der Bedingungen führten, zum tödlichen Handicap werden. Die Natur fand auch dafür eine Lösung.

Durch Mutationen waren Individuen entstanden, die zwar zur selben Art gehörten, sich aber in einigen Merkmalen unterschieden. Wenn es gelang, das Erbgut zweier solcher Individuen zu vereinen, dann würde etwas Neues entstehen, das sich von beiden Eltern unterschied. Zum Zwecke der Vereinigung mussten sich zwei unterschiedliche, aber passfähige Keimzellen herausbilden. Die einen waren fest im Lebewesen verankert, die anderen waren mobil, sie gingen mit Hilfe von Wind und Wasser auf Reisen. Traf die reisende Keimzelle, wir nennen sie männlich, auf eine passfähige stationäre, die wir weiblich nennen, dann konnten sich beide vereinen. Der entstehende Keim wurde nun seinerseits auf Reisen geschickt, um neue Lebensräume zu erschließen. Da die Nachkommen Eigenschaften der Eltern jeweils in unterschiedlichen Kombinationen vereinten, unterschieden sie sich voneinander. Es waren wieder Individuen, wobei diejenigen, die am besten mit den gegebenen Bedingungen zurechtkamen, sich am stärksten vermehrten und fortan die Population prägten. Kamen einzelne Samen in ein noch nicht besiedeltes Gebiet, dann war dort eine geschlechtliche Fortpflanzung wegen fehlender Partner nicht möglich. In einer solchen Situation war es gut, über eine Alternative zu verfügen und mittels Klonung eine Kolonie gründen zu können. Die Klone waren zwar genetisch gleich, doch mit der Zeit bildeten sich auch hier Individuen heraus, die wieder eine geschlechtliche Fortpflanzung ermöglichten. Noch heute haben etwa 40 Prozent aller Pflanzen die Fähigkeit, sich auch durch Knospung, Ableger,

Ausläufer und andere Formen ungeschlechtlicher Fortpflanzung auszubreiten.

Die Entwicklung hatte nun richtig Fahrt aufgenommen. Bahnbrechende Innovationen brauchten nicht mehr Milliarden von Jahren, bereits in einigen Millionen Jahren konnten sich grundlegende Neuerungen in der Pflanzenwelt durchsetzen. Das mag auch daran gelegen haben, dass die Bedingungen auf Erden lebensfreundlicher wurden. Die neue Technik der Vermehrung, mit der in relativ kurzer Zeit viele Variationen einer Art hervorgebracht werden konnten, hatte ebenfalls einen Anteil daran. So entstanden unter anderem Pflanzen, die sich durch eine dickere Hülle vor Austrocknung und anderen Gefahren schützten. Da der Gasaustausch trotzdem gesichert sein musste, bauten sie Spalte in die Oberfläche ein, die nach Bedarf geöffnet oder geschlossen werden konnten. Außerdem begannen die Pflanzen, sich dem Licht entgegenzustrecken, was einen stabileren Aufbau verlangte. Neuartige Moleküle wurden gebildet und so angeordnet, dass sie ein Stützkorsett ergaben. Zur Deckung des wachsenden Energiebedarfs brauchten sie zudem leistungsstarke Sonnenkollektoren, Blätter genannt. Der von ihnen produzierte Zucker wurde nicht nur als Energiereserve, sondern auch für den Aufbau eines größeren und stabileren Korpus benötigt. Dann war da noch das Problem mit dem Wasser, das für die Photosynthese unabdingbar war und in der Regel aus dem Boden gesogen werden musste. Ein Wurzelwerk, welches das Wasser, mitunter aus großen Tiefen, heranschaffte, bildete sich. Um den Transport des Wassers von den Wurzeln bis zu den Blättern zu gewährleisten, wurde über den Gasaustausch in den Blättern ein Sog erzeugt, der, unterstützt durch ein System von sich verjüngenden Röhren, diese logistische Meisterleistung ermöglichte.

In Bezug auf die Fortpflanzung gab es ebenfalls Neuerungen. Bei dem so wichtigen Geschäft der Verbreitung des Samens nur auf Wasser und Wind zu vertrauen, war ein unsicheres Unterfangen. Mittlerweile gab es jedoch unzählige Krabbelwesen, die vor 400 Millionen Jahren begonnen hatten, das Land zu bevölkern. Ein Teil von ihnen konnte sogar fliegen und auf diese Weise größere Entfernungen zurücklegen. Diese Krabbelwesen, Insekten vor allem, waren zwar mitunter eine rechte Plage, doch bei der Verbreitung der Samenzellen erwiesen sie sich als nützlich. Um sie anzulocken, bauten einige Pflanzen um die Keimzelle herum ein Gebilde, das durch seine Form, seine Farbe oder durch die Absonderung von speziellen Duftmolekülen diese Aufgabe erfüllen sollte. Dem Besucher dieses Gebildes, Blüte genannt, winkt Süßes als Belohnung. Die Krabbeltiere entwickelten bald unterschiedliche Vorlieben hinsichtlich Farben, Formen und Gerüchen. Die Pflanzen ihrerseits spezialisierten sich mit ihren Blüten auf den Geschmack eines oder weniger dieser kleinen Helfer, so dass sie relativ sicher sein konnten, dass die Pollen zum richtigen Adressaten getragen wurden. Diese Strategie war in toto so erfolgreich, dass heute 80 Prozent aller Pflanzen Blütenpflanzen sind.

Einige der Pflanzen hatten bereits eine beachtliche Größe erreicht, aber groß war nicht groß genug. Für das fortgesetzte Streben zum Licht, der lebenspendenden Energiequelle, musste der eigene Aufbau noch stabiler werden. Ein neuer Baustoff, Holz genannt, entwickelte sich. Um weit in den Himmel ragen zu können, war es außerdem erforderlich, sich fest im Boden zu verklammern, damit nicht jeder Windstoß dem Streben nach Höherem ein jähes Ende bereitere. Starke Wurzeln waren erforderlich, die darüber hinaus dem Einsammeln von Wasser und Nährstoffen dienen sollten. Für die Entlohnung der Pilze, die

ihnen dabei halfen, wie auch für den eigenen Bedarf brauchten die Wurzeln Zucker, dessen Produktion den Blättern oblag, die ihrerseits dem Licht zustrebten. Zucker musste also von den Blättern hoch oben durch die gesamte Pflanze bis nach unten in die Wurzeln geleitet werden. Dazu war ein Leitungssystem erforderlich, das diesen Zuckerfluss gewährleistete.

Kaum war ein Problem gelöst, tauchte ein neues auf. Die Pflanzen hatten sich kräftig vermehrt und eine große Artenvielfalt ausgebildet. Nährstoffreiche Gebiete waren bald dicht besiedelt, so dass ein Konkurrenzkampf um Rohstoffe und Energie entbrannte. Der Pflanzenreichtum lockte zudem Parasiten und Schmarotzer an, die die Pflanzen anzapften und ihnen Mineralstoffe und Zucker entzogen, ohne eine Gegenleistung zu liefern. Noch gravierender war, dass sich eine andere Gruppe von Lebewesen, Tiere nämlich, ebenfalls aufgemacht hatte, das Festland zu erobern. Viele dieser Tiere ernährten sich von Pflanzen. Auf all diese Bedrohungen mussten die Pflanzen reagieren, das heißt, sie mussten sich der Konkurrenz anderer Pflanzen erwehren, Parasiten bekämpfen und sich vor dem übermäßigen Befraß durch Tiere schützen. Außerdem galt es, den sich verändernden Umweltbedingungen anzupassen, die Vermehrung zu gewährleisten und womöglich neue Lebensräume zu erobern. Für die Bewältigung dieser vielfältigen Aufgaben brauchten sie Informationen, die nicht nur gewonnen, sondern auch verarbeitet werden mussten, um in zielführende Aktionen zu münden. Im Unterschied zu den meisten Tieren steuern Pflanzen die dafür erforderlichen Prozesse dezentral, das heißt, deren Steuerung ist nicht in einer Zentrale konzentriert.

Schauen wir uns zum besseren Verständnis noch einmal die Wasserversorgung eines Baumes an. Die Zellen, die die Wasserleitungen bilden, durchziehen ihn von den Wurzeln bis zu

den Blättern. Bei starker Sonneneinstrahlung kann die Pflanze die Photosynthese intensivieren, wodurch sich der Wasserbedarf in den Blättern erhöht. Durch die anspringende Photosynthese wird gleichzeitig der Gasaustausch angekurbelt, so dass der Sog in den Wasserleitungen größer wird und mehr Wasser nach oben gepumpt werden kann. Es entsteht ein sich selbst regulierendes System. Es kann jedoch sein, dass der steigende Wasserbedarf nicht befriedigt werden kann, weil die Wurzeln des Baumes im Trockenen stehen. Die Wurzeln müssen in diesem Fall veranlasst werden, sich stärker zu verzweigen oder tiefer ins Erdreich vorzustößen, um zusätzliche Ressourcen zu erschließen. Dazu ist ein Signal erforderlich, das, vom Wassermangel in den Blättern ausgelöst, zu den Wurzeln transportiert wird, um dort eine im Erbgut angelegte Wachstumsreaktion in Gang zu setzen. Im Unterschied zu dem zuvor betrachteten Regelsystem, das auf einer direkten Abfolge von Wirkung und Anpassung basiert, ist jetzt eine andersartige, außerhalb des automatisierten Regelsystems angelegte Reaktion erforderlich. Für deren Initialisierung wird ein Mittler benötigt, der die Nachricht vom Wassermangel weiterträgt und das Wachstum der Wurzeln in Gang setzt. Für diese Aufgabe nutzen die Pflanzen wiederum Botenstoffe, die mit ihren Wirkungen die gewünschten Reaktionen beim Empfänger hervorrufen. Man kann die Registrierung des Wassermangels in den Blättern als Wahrnehmung der Pflanze ansehen. Auf Grundlage dieser Wahrnehmung steuert sie Prozesse, die der Anpassung an die veränderte Situation dienen.

Welche anderen Wahrnehmungen lassen sich an Pflanzen unterscheiden? Das Wachstum der Pflanze braucht eine Richtung, die Wurzeln nach unten und die Triebe nach oben. Um festzustellen, wo oben und unten ist, haben Pflanzen Zellen

hervorgebracht, in denen sie mit Hilfe kleiner Kügelchen, die von der Schwerkraft an die Zellwand gedrückt werden, feststellen können, ob die Wurzelspitzen nach unten und die Triebe nach oben zeigen, oder nicht. Entspricht die eingeschlagene Richtung den Anforderungen, setzt diese Zelle Botenstoffe frei, die ein entsprechendes Wachstum vorantreiben. Erspürt die Wurzel, zum Beispiel, ein Hindernis, muss sie ausweichen, das Wachstum in eine andere Richtung lenken. Ist kein Hindernis mehr auszumachen, kann sie wieder dem ersten Impuls folgend den Weg nach unten fortsetzen. Auch die Triebe müssen in ihrem Streben zum Licht manche Verrenkung in Kauf nehmen, um in höhere Regionen vorzustoßen. Das heißt, es entstehen Informationen aus respektive über die Umwelt, die zur Bildung von Botenstoffen führen, die ihrerseits eine angepasste Reaktion der Pflanze bewirken.

Ähnliches gilt auch für den Rhythmus von Tag und Nacht, dem sich die Pflanzen anpassen müssen, denn in der Nacht steht Sonnenenergie für die Photosynthese nicht zur Verfügung. Um die Zeit der Nacht trotzdem nicht zu vergeuden, wird die Photosynthese in zwei Schritte aufgeteilt. Am Tag wird die Sonnenenergie eingesammelt und auf chemischem Weg zwischengelagert, während in der Nacht Kohlendioxid der Luft mit Hilfe der gespeicherten Energie zu Zuckermolekülen umgebaut wird. Zur Steuerung dieses Rhythmus entwickelten die Pflanzen eine innere Uhr aus Proteinen, die nach einem festgelegten Schema auf- und wieder abgebaut werden. Das heißt, die Pflanze misst die Zeit mit Hilfe von Prozessen gleichbleibender Dauer, ein Prinzip, das auch für uns Grundlage jeglicher Zeitmessung ist. Dieses System berücksichtigt jedoch die jahreszeitlich bedingten Änderungen des Tag-Nacht-Wechsels nicht, so dass weitere Informationen, die Länge und die Intensität

der Sonneneinstrahlung betreffend, hinzukommen müssen, um die Pflanze in die Lage zu versetzen, sich auch in den Jahreszeiten zu orientieren.

Die genannten Beispiele sind bei weitem nicht die einzigen Informationen, die sich Pflanzen erschlossen haben. In den letzten Jahren wurde eine ganze Reihe weiterer Wahrnehmungen der Pflanzen nachgewiesen. Einige von ihnen können durch die Luft wirbelnde Moleküle oder in Flüssigkeiten gelöste Substanzen erkennen, andere nehmen Schallwellen wahr oder sie können Licht nach Frequenzen differenzieren, wieder andere vermögen es, auf Druck, auf äußere Feuchtigkeit oder auf Wärmequellen zu reagieren. Die mit den Wahrnehmungen verbundenen Informationen werden jeweils mit Hilfe von Botenstoffen zu den Zellen, die aktiv werden sollen, weitergeleitet, wo sie eine Reaktion bewirken. Auf ähnliche Weise kommunizieren die Pflanzen auch untereinander, das heißt, sie bringen mit Hilfe des Wassers, der Luft oder anderswie Botenstoffe auf den Weg, die beim Empfänger eine vorherbestimmte Reaktion anstoßen.

Botenstoffe haben sich im Laufe der Evolution immer wieder als zuverlässige Transportmittel für Informationen erwiesen. Ihr wichtigster Nachteil ist, dass sich deren Transport nur relativ langsam und mit begrenzter Zielgenauigkeit vollzieht. Hinzu kommt, dass jeder Botenstoff nur für ein spezielles Signal eingesetzt werden kann, was die Flexibilität des Systems einschränkt. Für die Pflanzen, die ja an Ort und Stelle verharren, sind diese Einschränkungen nicht problematisch, für Tiere, die sich bewegen müssen, um ausreichend Nahrung zu finden, sind Schnelligkeit und Flexibilität jedoch überlebenswichtig.

Bewegung ist alles

Will man jemanden bestehlen, muss man sich bewegen. Mit diesem Satz könnte man die Lebensphilosophie der Tiere zusammenfassen. Objekt ihrer Begierde sind Stoffe, aus denen Energie gewonnen werden kann. Diese Stoffe hat zwar jemand anderes produziert und deren Diebstahl könnte dem Bestohlenen die Existenz kosten, aber so ist nun mal das Leben - des einen Freud, des andern Leid. Die potenziellen Opfer werden allerdings nicht von sich aus angelaufen kommen, um gefressen zu werden. Im Gegenteil, man muss die mögliche Beute erst einmal ausfindig machen, dann muss man sie erhaschen und irgendwie der eigenen Verdauung zuführen. Ein solcher Beutezug bedarf einer zielgerichteten Aktion, für die vielfältige Informationen erforderlich sind, die gesammelt, verarbeitet und im Handeln berücksichtigt werden müssen. Werden Pflanzen als Beute bevorzugt, hat das den Vorteil, dass diese nicht davonlaufen. Der Nachteil des Grünzeugs besteht darin, dass dessen Energiedichte zu wünschen übriglässt. Im Vergleich zum Körpergewicht müssen relativ große Mengen verzehrt werden, um den Energiehunger zu stillen. Fleisch hat eine höhere Energiedichte. Das ist der Stoff, aus dem die Träume sind. Nur diese Träume sind flüchtig, sie rennen, schwimmen oder fliegen einfach davon. Die Jäger müssen immer neue Strategien finden, um Beute zu erhaschen. Die Gejagten tun es ihnen nach, denn sie wollen entkommen und ihr Leben retten. Auf diese Weise wurde das Jagen und Gejagtwerden zum Motor für die Entwicklung von immer neuen Fähigkeiten.

Angefangen hatte alles mit Organismen, deren Zellen nur eine geringe Spezialisierung aufwiesen. Diese schwammartigen Gebilde bevölkerten vor 750 Millionen Jahren in großer Zahl die Ozeane. Sie bestanden aus Tausenden von Zellen, wuchsen auf Steinen und ließen durch unzählige Poren Wasser fließen, um

Nahrhaftes herauszufiltern. Ihre Fähigkeiten gingen kaum über die der Mikroorganismen hinaus. Trotzdem werden sie, da es mehrzellige Wesen waren, als Tiere angesehen. Dabei blieb es aber nicht, denn die Zellen, die zusammen ein Ganzes bildeten, begannen, sich unterschiedlichen Aufgaben zu widmen, sich zu spezialisieren. Die Spezialisierung ging mit der Herausbildung von neuen Fähigkeiten der Vielzeller einher. Unter den sich entwickelnden Fähigkeiten erlangte die Bewegung aus eigener Kraft besondere Bedeutung. Sie wurde zur Grundlage für die aktive Nahrungssuche, die man als Wesensmerkmal der Tiere bezeichnen kann. Für eine zielgerichtete Bewegung brauchen die Tiere Informationen über die Welt, in der sie sich bewegen wollen. Die gewonnenen Informationen müssen von den Sensoren zu jenen Zellen geleitet werden, die aktiv werden sollen. Das Ganze muss darüber hinaus schnell geschehen, soll die Jagd von Erfolg gekrönt sein. Auch für eine Flucht vor hungrigen Räubern oder anderen Gefahren ist Schnelligkeit unabdingbar. Botenstoffe sind für diese Aufgabe, das heißt für die schnelle Verteilung von Informationen, nur bedingt geeignet, denn ihr Transport ist, wie gesagt, relativ langsam und wenig zielgenau.

Schneller als Botenstoffe lässt sich Energie transportieren, zumindest, wenn sie auf speziellen Bahnen durch den Organismus geleitet wird. Diese Art der Weitergabe von Informationen wurde ebenfalls zu einem Wesensmerkmal der Tiere. Die Nutzung elektrischer Impulse machte die Botenstoffe jedoch nicht überflüssig. Sie blieben für die Umsetzung der Informationen in Reaktionen der Zellen unverzichtbar. Es entwickelte sich ein zweistufiges System, einerseits aus Zellen bestehend, die die von den Sinneszellen generierten elektrischen Impulse weiterleiten, und andererseits auf Stoffe setzend, die eine bestimmte Reaktion bei anderen Zellen bewirken. Die Zellen, die sich auf die

Weiterleitung elektrischer Impulse spezialisierten, nennen wir Nervenzellen. Sie besitzen die Fähigkeit, sich miteinander zu verknüpfen und neuronale Netze zu bilden. Diese Netze durchziehen beinahe den gesamten Körper, so dass mit ihrer Hilfe Informationen schnell und planmäßig verteilt werden können.

Unter den noch heute lebenden Arten gelten Quallen als die ältesten komplexen Tiere. Sie schwimmen schon seit 750 Millionen Jahren durch die Meere, wo sie mit Hilfe ihrer Tentakeln Kleinlebewesen fangen. Für ihre Jagd braucht die Qualle Informationen darüber, ob Beute in Reichweite ist. Diese Informationen entstehen in Sensorzellen, die sich auf der äußeren Hülle befinden. Eine solche Information könnte besagen, dass mögliche Beute aufgetaucht sei. Für die Qualle gilt es nun, aus dieser Information eine zielgerichtete Aktion werden zu lassen, die mit der angestrebten Nahrungsaufnahme endet. Für diese Aktion muss die Qualle die Tätigkeit verschiedener Zellen koordinieren. Einige sind für die Bewegung des Körpers, andere für den Einsatz der Tentakeln zuständig, wieder andere halten das Gift vor, das die Opfer lähmen soll und so weiter. Für die Koordinierung der Aktionen nutzt die Qualle ein Netz von Nervenzellen, das in seiner Struktur den Ablauf der Prozesse, in unserem Fall der Jagd, abbildet. Nimmt nun ein Sensor der Außenhaut Fressbares in der nahen Umgebung wahr, dann generiert er einen elektrischen Impuls, der über ein neuronales Netz im Körper verteilt wird. Die Empfänger des Impulses reagieren in einer genetisch festgelegten Art und Weise. Die direkte Kopplung einer bestimmten Information mit einer festgelegten Aktion war, wie man bei den Quallen sieht, eine überaus erfolgreiche Strategie. Ihr Nachteil besteht darin, dass sich für jede Aktion ein eigenes neuronales Netz durch den Organismus ziehen muss. Damit ist die Anzahl möglicher

Alternativen von vornherein beschränkt, denn eine Vielzahl solcher Netze erhöht die Gefahr von Fehlern immens. Vor rund 600 Millionen Jahren fanden urzeitliche Würmer eine Lösung des Problems. Sie nutzten nur einen Teil der Nervenzellen für die Verteilung der Signale im Körper, die anderen wurden für die Strukturierung der Prozesse verantwortlich. Diese bildeten aufgabenspezifische neuronale Netze, die sich in einer Zentraleinheit, Gehirn genannt, konzentrierten. Gleichzeitig bildete sich ein Kopf heraus, in dem nicht nur das Gehirn, sondern auch die Organe zur Nahrungsaufnahme sowie die Mehrzahl der Sinnesorgane verortet wurden.

Rund 60 Millionen Jahre später gab es eine Zeit, in der relativ viele neuartige Lebewesen entstanden. Einige von ihnen besaßen bereits erstaunlich leistungsfähige Gehirne mit einer beachtlichen Zahl von Nervenzellen, die in vielfältiger Weise miteinander verknüpft waren. Diese Gehirne waren zu Schaltzentralen geworden, die eine ganze Palette neuronaler Netze verwalteten. Diese Netze steuerten unter anderem die Bewegungsabläufe, die wiederum in Verhaltensmustern, wie "Verfolgen", "Einfangen", "Fliehen" oder ähnliches, eingebettet waren. Wird nun von einem Sensor eine Information in Form eines elektrischen Impulses generiert und an das Gehirn gesandt, aktiviert er dort ein fest zugeordnetes neuronales Netz, das ein bestimmtes Verhaltensmuster verkörpert. Diese direkte Verknüpfung eines Reizes mit einem bestimmten Verhalten ist noch heute für „einfache“ Tiere bis hin zu Krebsen und Insekten charakteristisch. Sie ist genetisch fixiert und damit für alle Tiere einer Art in gleicher Weise vorgegeben. Anpassungen im Sinne einer auf die jeweilige Situation bezogenen Optimierung des Verhaltens sind nicht vorgesehen. Die Fliege wird auch zum hundertsten Mal gegen die Scheibe krachen, weil der Reiz der Helligkeit sie lenkt.

Sie kann auch um den Preis tödlicher Erschöpfung nicht begreifen, dass mit der Scheibe ein unüberwindliches Hindernis den Weg versperrt.

Vor diesem Hintergrund wird auch die Funktionsweise der Facettenaugen vieler Insekten verständlich. Diese Augen liefern kein ganzheitliches Bild, sie sammeln Informationen über Lichtreflexionen und deren Veränderung, die dann zur Grundlage von Reaktionen respektive Bewegungen dieser Tiere werden. Registriert das Tier plötzliche Veränderungen in der Reflexion des Lichts, so kann dies Gefahr bedeuten, weswegen sofort ein Fluchtverhalten ausgelöst wird. Es ist verdammt schwierig, eine Fliege zu erwischen, denn sie kann selbst hinterhältigen Angriffen zuvorkommen. Zwar "sieht" sie den Angreifer nicht, sie registriert jedoch die mit seiner Bewegung verbundene Veränderung des Lichts, und dies beinahe im Rundumblick. Diese Information löst augenblicklich ihre Flucht aus.

Wie ist das mit der Bewegung selbst, basiert sie ebenfalls auf festgelegten Mustern? Wenn eine Ameise den Weg zurück zu ihrem Volk sucht, weil das gefundene Blatt abgeliefert werden soll, dann folgt sie einem fest verankerten Verhaltensmuster. In ihren Bewegungen, ihrem Lauf durch den Wald, muss sie jedoch die konkreten Gegebenheiten des Weges berücksichtigen, will sie ihr Ziel erreichen. Vielleicht hat sie einen Zweig oder eine abschüssige Stelle zu überwinden. Das Verhaltensmuster, Blatt nach Hause bringen, muss also mit kleinteiligen Bewegungsmustern für jeden Abschnitt der Gesamtbewegung unteretzt sein. Diese Teilbewegungen sind ebenfalls in neuronalen Netzen angelegt, ihre jeweilige Kombination erfolgt in Anpassung an die konkrete Situation. Mit anderen Worten, Zielgebung oder Verhaltensmuster und Ausführung, mithin

Bewegungsmuster, basieren auf getrennt voneinander existierenden neuronalen Strukturen.

Etwa zur gleichen Zeit, also vor 540 Millionen Jahren, entstand noch ein anderes, eher unscheinbares Wesen, das den heutigen Neunaugen ähnelte. Es verfügte über ein aus Knorpeln bestehendes Stützsystem, eine zentrale Nervenbahn durch die Länge des Körpers und eine feste, das Gehirn schützende Schale. Dieses Wesen wurde zum Vorläufer der Fische und damit der Wirbeltiere, zu denen auch die Menschen zählen. Ein Merkmal der Fische ist, dass sie sich alle räumlichen Dimensionen für eine zielgerichtete Bewegung erschlossen haben. Sie nutzen die Wirkungen der Gravitation, um oben und unten zu unterscheiden. Außerdem bildeten sie ein Vorn und ein Hinten, einen Kopf und einen Schwanz, sowie zwei beinahe gleiche Körperseiten aus, so dass jede Bewegungsrichtung eindeutig bestimmbar wurde. Für die Ausschöpfung der damit entstehenden Möglichkeiten sind viele Informationen erforderlich, die nicht nur gewonnen, sondern auch verarbeitet werden müssen. Um den steigenden Anforderungen der Informationsverarbeitung gerecht werden zu können, bildeten sich in ihrem Gehirn drei spezialisierte Bereiche. Der Hirnstamm wurde für Herzschlag, Atmung und andere Vitalfunktionen zuständig. Er hat sich mit der nachfolgenden Evolution der Arten nur wenig verändert. Die beiden anderen Bereiche, das Kleinhirn, das vor allem die Bewegungen koordiniert, und das Großhirn, das die Informationen der Sinnesorgane verarbeitet und Entscheidungen zum Verhalten herbeiführt, machten dagegen im Laufe der Evolution erstaunliche Entwicklungen durch. Zu diesen Entwicklungen zählt die Entstehung und immer weitere Verbesserung des Gedächtnisses, also der Fähigkeit, Informationen zu speichern.

Wenn ich im Weiteren vor allem die Entwicklung der Wirbeltiere betrachte, so soll doch nicht unterschlagen werden, dass auch wirbellose Tiere, zum Beispiel Kopffüßer, zu erstaunlichen geistigen Leistungen fähig sind.

Für Fische ist die dominierende Rolle des Kleinhirns charakteristisch. Offensichtlich hat für sie die Anpassung von Bewegungsabläufen an die konkreten Umweltbedingungen eine größere Bedeutung erlangt als der Einsatz von alternativen Verhaltensmustern. Sie müssen sich daher gefallen lassen, als nicht sonderlich intelligent zu gelten. Man sollte Fische aber auch nicht unterschätzen, denn Beobachtungen an heutigen Arten haben teilweise beachtliche Leistungen gezeigt. Man konnte, zum Beispiel, Goldfische dressieren, dass sie einen Ball mit Stirn und Maul in ein Tor bugsieren. Dressur setzt Erinnerung voraus. Drückerrische nutzen besondere Steine, um Seeigel, ihre Hauptnahrung, zu knacken. Dieses Wissen geben sie sowohl an andere als auch an den Nachwuchs weiter. Bei Putzerfischen hat man beobachtet, dass sie sich je nach Situation unterschiedlich verhalten. Ihre Erfahrung lehrt sie, eine Situation zu bewerten und ihr Verhalten entsprechend anzupassen. Fische verfügen also sehr wohl über ein Gedächtnis, über Möglichkeiten zur Kommunikation und zur Anpassung ihres Verhaltens an konkrete Gegebenheiten, wenn auch in relativ engen Grenzen.

Vor rund 400 Millionen Jahren eroberten Pflanzen und Tiere das entstandene Festland. Die Eroberer für die Tiere waren urtümliche Lurche, die sowohl im Wasser als auch an Land existieren konnten. Aus ihnen gingen die Reptilien hervor, die vor rund 300 Millionen Jahren ihren Siegeszug begannen. Im Laufe ihrer langen Geschichte waren die Reptilien immer wieder mit neuen Anforderungen konfrontiert, nicht zuletzt, weil ihre Welt vielgestaltiger wurde. Neuartige Pflanzen und Tiere, darunter

gefährliche Räuber, hatten sich entwickelt. Um in dieser Welt bestehen zu können, brauchten sie mehr und vor allem immer bessere Informationen, für deren Gewinnung sich leistungsfähige Sinnesorgane herausbildeten.

Wahrscheinlich war es der Geruchssinn, der sich zuerst in komplexer Weise entwickelte. Das legt zumindest das Gehirn der Amphibien nahe. Mit dem Geruchssinn werden Partikel, die durch die Luft herangeweht werden, registriert. Der große Vorteil dieser Wahrnehmung besteht darin, dass sie auf Nahrung oder auf Gefahren hinweist, die sich noch in Distanz zum eigenen Körper befinden, wodurch sich ein Zeitfenster für eine Reaktion eröffnet. Die Nutzung der mit den herangewehten Partikeln verbundenen Informationen erfordert jedoch, dass sie nicht nur eingefangen, sondern auch identifiziert werden. Einzeller hatten bereits Sensoren hervorgebracht, die auf Stoffe, die das Wasser heranspülen, reagieren. Diese Sensoren waren jeweils auf einen beziehungsweise mehrere ähnlich strukturierte Stoffe spezialisiert, so dass mit ihrer Reaktion der jeweilige Stoff identifiziert wurde. Dieses Prinzip konnte nun genutzt werden, um Partikel, die durch die Luft heranwehen, zu bestimmen. Die dafür erforderlichen Sinneszellen fanden in den Organen zur Luftaufnahme Platz. Dass sie dort in ein feuchtes Umfeld eingebettet sind, mag auf ihren Ursprung im Meer zurückzuführen sein. Wird von einer solchen Sinneszelle ein Molekül erfasst, dann generiert sie einen elektrischen Impuls, der an das Gehirn geleitet wird. Dort aktiviert der Impuls in dieser Sinneszelle zugeordnetes Verhaltensmuster. Gehören die Geruchspartikel zu einem gefährlichen Räuber, wird die sofortige Flucht die Rettung sein. Das Leben besteht aber nicht nur aus Gefahren. Taucht ein paarungsbereites Weibchen in Reichweite des potenziellen Samenspenders auf, dann werden die

Geruchspartikel nicht seine überstürzte Flucht auslösen, eher wird er aufdringlich werden.

Die Fähigkeit, kleinste Partikel in der Luft zu identifizieren, bietet jedoch weitaus mehr Informationspotenzial als das, was mit den wenigen grundlegenden Gerüchen, die sofort ein vorherbestimmtes Verhalten auslösen, genutzt wird. Die Stoffe können nämlich in unterschiedlichen Kombinationen auftreten und auf diese Weise "Geruchsbilder" formen. Diese Geruchsbilder sind so vielfältig, dass es nicht möglich und wohl auch nicht sinnvoll war, jedem von ihnen ein Verhaltensmuster fest zuzuordnen. Die in den Geruchsbildern steckenden Informationen mussten auf einem anderen Weg nutzbar gemacht werden. In gewisser Weise hatten die Fische bereits eine Lösung des Problems gefunden. Fische gleichen Informationen aus der unmittelbaren Umgebung mit gespeicherten Erfahrungen ab, um ihre Bewegungen zu optimieren. Dieser Prozess vollzieht sich im Kleinhirn. In einem ähnlichen Prozess mussten nun im Großhirn Erfahrungen zu bereits bekannten Geruchsbildern mit den eingehenden Informationen abgeglichen werden, um diese zu identifizieren und das Verhalten darauf einzustellen.

Im Laufe der Zeit bildeten sich weitere komplexe Sinne heraus. Große Bedeutung erlangte das Gehör, mit dem Luftbewegungen wahrnehmbar sind. Luftirritationen können durch Bewegungen anderer Lebewesen hervorgerufen werden. Kann man sie wahrnehmen, können sie womöglich Informationen über einen Räuber oder über eine potenzielle Beute liefern, die bis dahin weder zu sehen noch zu riechen waren. Dazu müssen die Bewegungen der Luft aber nicht nur registriert und lokalisiert, sondern auch mit Hilfe von Erfahrungen identifiziert werden. Erfahrungen gewannen insgesamt eine immer größere Bedeutung. Erfahrungen werden jedoch nicht vererbt, das heißt,

jedes Lebewesen muss sie selbst erlangen. Die Verankerung im Erbgut kam schon deshalb nicht in Frage, weil die Lebensumstände, für die die Erfahrungen benötigt wurden, sehr unterschiedlich sein konnten und sich zudem veränderten.

Für Saurier war neben der wachsenden Fähigkeit zur Gewinnung und Verarbeitung von Informationen auch charakteristisch, dass viele Arten in Gruppen lebten. In ihnen bildete sich eine gewisse Rangordnung heraus. Das stärkste oder erfahrenste Tier führte die Gruppe an und setzte die Regeln des Zusammenlebens durch. Wurde eine gemeinsame Aktion erforderlich, zum Beispiel um Gefahren abzuwenden, dann musste das Leittier in der Lage sein, das Handeln der Gruppe zu koordinieren. In weit höherem Maße galt das für jene Arten, die gemeinsam jagten, da die Jagd ein schnelles und abgestimmtes Handeln aller Beteiligten erfordert. Für eine solche Abstimmung muss man miteinander kommunizieren. Diese Kommunikation erfolgte über Botenstoffe, durch Laute oder mittels anderer körperlicher Signale. Es hatte allerdings auch schon vor den Sauriern Tiere gegeben, die in Gruppen lebten, um so ihre Überlebenschancen zu verbessern. Fische zogen in Schwärmen durch die Meere, da sie auf diese Weise einen gewissen Schutz vor Angreifern gewannen. Im Schwarm gelten einfache Regeln - bleibt zusammen, stoßt nicht aneinander und bewegt euch wie die anderen. Für ein solches Miteinander ist nur wenig Kommunikation erforderlich. Die Gruppen, in denen die Reptilien lebten, agierten dagegen unter der Führung eines Leittiers, das in der Lage war, Informationen aus der Umwelt zu verarbeiten und Entscheidungen zu treffen. In den Gemeinschaften der Reptilien gewann darüber hinaus die Fürsorge für die Nachkommen an Bedeutung. Während anfänglich die Gelege meist sich selbst überlassen wurden, übernahmen im Laufe der Entwicklung immer mehr Arten

Verantwortung für den Schutz und die Versorgung der Nachkommen, auch, weil die dadurch mögliche Weitergabe von Erfahrungen zu einem das Überleben sichernden Faktor wurde.

Vor rund 65 Millionen Jahren ging die große Zeit der Saurier zu Ende. Wahrscheinlich war die Erde von einer Katastrophe heimgesucht worden, die die Lebensbedingungen derart gravierend veränderte, dass den Sauriern keine Chance zur Anpassung blieb. Einige ihrer Nachfahren, die Vögel, haben die von ihnen hervorgebrachten Fähigkeiten bis in unsere Tage hinein bewahrt und weiterentwickelt. Viele Vögel zeichnen sich durch ein komplexes soziales Verhalten, durch intensive Pflege der Nachkommen und hohe Intelligenz aus. Die eigentlichen Gewinner des Exodus der Dinos waren jedoch die Säugetiere. Sie krochen aus ihren Löchern und vermehrten sich fortan rasant. Immer neue Arten entstanden, die auch immer neue Lebensräume eroberten. Fast gleichzeitig traten die Blütenpflanzen ihren Siegeszug an. Man könnte sagen, die Welt der Lebewesen erfand sich neu.

Säugetiere zeichnen sich durch eine Reihe von Besonderheiten aus. Auf dem Gebiet der Informationsverarbeitung ist vor allem die sich vergrößernde Schicht von Nervenzellen zu nennen, die ihr Großhirn umhüllt. Die entstandene Großhirnrinde ist zwar sehr dünn, aber ihre Nervenzellen sind raffiniert miteinander verknüpft, so dass eingehende Informationen vielfältig kombiniert werden können. Mit dem daraus erwachsenden Potenzial wurde es unter anderem möglich, ein größer und komplizierter werdendes Geflecht sozialer Beziehungen zu beherrschen. Gemessen an vorangegangenen Perioden verlief die damit verbundene Entwicklung atemberaubend schnell. Bereits vor 40 Millionen Jahren lebten einige Säugetierarten in hochkomplexen Gemeinschaften. Die in diesen Verbänden

erforderliche Kommunikation wurde wiederum mit Hilfe von Botenstoffen, Lauten und anderen Körperzeichen, aber auch durch Gestik und Mimik gesichert. Durch die verbesserte Gedächtnisleistung war es ihnen außerdem möglich, die Mitglieder der Gruppe nach äußeren Merkmalen zu unterscheiden und ihnen Stärken und Schwächen zuzuordnen.

Die verbesserte Leistungsfähigkeit der Gehirne trug auch dazu bei, dass für viele Arten das Sehen zu einer der wichtigsten Informationsquellen wurde. Das Sehen war bereits in einer frühen Phase der Evolution zur Orientierung in der direkten Umgebung und zur Steuerung der Bewegungen entstanden. Nun eröffneten sich jedoch neue Perspektiven. Die verbesserte räumliche Wahrnehmung machte es möglich, sich in größeren Gebieten zu orientieren und diese gezielt für die Nahrungssuche zu erschließen. Auch Gefahren wurden besser erkannt, so dass ihnen auf neue Weise begegnet werden konnte. Die Kehrseite dieser Entwicklung war die entstehende Flut von Informationen, die irgendwie bewältigt werden musste. In diesem Zusammenhang wurde deutlich, dass die Verarbeitung komplexer visueller Informationen relativ viel Zeit erfordert. Die visuellen Informationen wurden jedoch auch für die Steuerung der Bewegungen benötigt, die sehr zeitnah erfolgen muss. Das Kleinhirn des Menschen braucht zum Beispiel eine fünftel Sekunde für die Auswertung der visuellen Informationen, während sich das Großhirn für deren komplexe Bewertung eine halbe Sekunde Zeit lässt. Um dem damit entstehenden Dilemma zu entgehen, werden die visuellen Informationen sowohl im Kleinhirn als auch im Großhirn, und dies unabhängig voneinander, ausgewertet.

Entscheidungen und Gefühle

Bei einfachen Lebewesen löst eine Information direkt eine in den Genen verankerte und damit vorherbestimmte Reaktion aus. Im Laufe der Evolution entwickelten die Tiere jedoch immer neue Fähigkeiten, für die sie auch immer mehr Informationen benötigten. Die gewonnenen Informationen mussten irgendwie geordnet, mithin bewertet werden, um aus der Palette möglicher Handlungsalternativen jene auswählen zu können, die das Überleben sichert. Da hatte zum Beispiel ein Saurier einen Platz mit wunderbar frischem Blattwerk gefunden, als ihm seine Sinne Informationen lieferten, die auf das Nahen eines räuberischen Zeitgenossen schließen ließen. Sollte er nun weiterfressen oder besser davonlaufen? Mit der Erfahrung, die ihm geholfen hatte, den Räuber zu identifizieren, war auch dessen Einstufung als Gefahr verbunden. Diese Bewertung wurde für ihn als etwas, das wir wohl Furcht nennen würden, wahrnehmbar. Sie trieb den Saurier in die Flucht, egal wie verlockend das Grünzeug gewesen sein mag. War die Gefahr vorüber, konnte wieder das Fressen in den Vordergrund treten, denn auch Nahrungsmangel kann lebensbedrohend sein.

Nicht nur Mangel und Gefahren bestimmen das Leben, genauso wichtig ist es, mit der mühsam erlangten Energie hauszuhalten und dem Körper Phasen der Regeneration zu gewähren. Ist der Löwe satt, wird er schläfrig. Das heißt, der volle Magen signalisiert dem Gehirn, dass nach Jagen und Fressen nun eine Pause angezeigt sei. Das Gehirn veranlasst die Ausschüttung von Botenstoffen, die den Löwen schläfrig machen, so dass er sich genüsslich in die Sonne legt. Die Ruhe hat er sich verdient. Im Rudel gibt es jedoch ein paarungsbereites Weibchen, das, statt ihm die Ruhe zu gönnen, um ihn herumschleicht und ihn zu verführen sucht. Welches Gefühl wird siegen - sein Ruhebedürfnis

oder die Pflicht, für Nachwuchs zu sorgen? Wahrscheinlich weiß er, was er zu tun hat. Allerdings wird er nicht aus Pflichtgefühl das Seine beisteuern, vielmehr werden die Informationen, die ihm seine Nase über die Löwin vermitteln, ihn geil machen. Dieses Gefühl setzt sich gegen das Ruhebedürfnis durch und der Löwe schreitet zur Tat. Wahrscheinlich wird er für sein Engagement zur Bewahrung der Art mit positiven Gefühlen belohnt. Die in diesem Zusammenhang ausgeschütteten Botenstoffe lassen ihn auch wieder zur Ruhe kommen. Vielleicht kann er ja doch noch ein Schläfchen halten. Zuckerbrot und Peitsche, positive und negative Gefühle treiben ihn an, steuern sein Verhalten. Es sind Gefühle, die Behagen oder Unbehagen auslösen, die angenehm oder unangenehm sind, die er vermeiden will oder von denen er nicht genug bekommen kann. Stimulierend oder bremsend, mehr Gefühl braucht es nicht.

Was sind dann aber Durst, Hunger oder Müdigkeit? Es sind Signale des Körpers, mit denen dieser auf seine Bedürfnisse aufmerksam macht. Es sind Informationen, denen eine Bewertung beigegeben ist, welche als angenehmes oder unangenehmes Gefühl auftritt. Je stärker dieses Gefühl ist, desto heftiger drängt die ihm zugrundeliegende Information in den Vordergrund. Das Unbehagen wegen eines bisschen Hungers wird nicht unbedingt die Handlung prägen, die Pein großen Hungers schon. Sie kann im konkreten Moment jegliches andere Gefühl überlagern. Ähnliches gilt für Schmerzen. Ausgangspunkt der Schmerzen sind Informationen von Sensoren, die Verletzungen an inneren Systemen beziehungsweise an der Außenhaut signalisieren. Diese Informationen lösen genetisch verankerte körperliche Reaktionen aus. Wahrscheinlich wird das Immunsystem aktiviert und an der verletzten Stelle wird Energie freigesetzt, die die Körpertemperatur erhöht, um Krankheitserreger abzutöten und

die Bildung neuer Zellen zu erleichtern. Außerdem löst das Gehirn ein Schmerzgefühl aus, das es ermöglicht, die Verletzung zu lokalisieren und ihre Schwere zu erfahren. Das Tier kann nun die Wunde lecken und durch die im Speichel vorhandenen antiseptischen und blutstillenden Stoffe die Heilungschancen verbessern. Es könnte auch im Unterholz Schutz suchen, wenn ihm der Schmerz signalisiert, dass ein Weglaufen wenig erfolgversprechend ist. Da der Schmerz in hohem Maße unangenehm ist, erzwingt er förmlich eine Handlung.

Handlungen respektive Entscheidungen werden also durch Gefühle bestimmt. Doch was sind Gefühle überhaupt und wie entstehen sie? Ein Gefühl entsteht aus der Wahrnehmung von Aktivitäten im Körper, die angenehm oder unangenehm sein können. Was da aktiv wird, sind Nervengeflechte oder anderer Körperzellen. Auslöser ihrer Aktivitäten sind Botenstoffe, die vom Gehirn auf den Weg gebracht werden. Fehlt dem Körper Wasser, melden Sensoren diesen Mangel an das Gehirn. Das Gehirn initiiert die Ausschüttung von Botenstoffen, die ihrerseits genetisch vorherbestimmte Zellen im Körper aktivieren, deren Reaktion als Durst wahrgenommen wird. Durst ist unangenehm, er verlangt nach einer Aktion, um ihn zu stillen. Man kann diese Abfolge von Ursache, Information und Reaktion als Regelkreis begreifen, mit dem der Wasserbedarf des Organismus gesichert werden soll. Dieserart Regelkreise, die das Funktionieren des Körpers zum Ziel haben, sind als neuronale Netze im Stammhirn verankert. Sie werden vererbt und sind nur in geringem Maß beeinflussbar. Ob der wahrgenommene Durst tatsächlich zur Aufnahme von Wasser führt, ist damit jedoch längst nicht gesagt. Eine Voraussetzung dafür ist, dass es Wasser gibt, dass aufgenommen werden kann. Wäre dies nicht der Fall, müsste man welches suchen. Ist eine Tränke gefunden, sollten die dort

lauernden Gefahren abgeschätzt werden, denn was nutzt das Wasser, wenn man beim Trinken gefressen wird. Zur Beurteilung der Situation an der Tränke müssen also vorher die Informationen der Sinnesorgane ausgewertet werden.

Die Sinnesorgane, aber auch die Art und Weise wie ihre Informationen das Verhalten beeinflussen, haben sich im Laufe der Evolution verändert. Deutlich wird dies beim Geruchssinn, dessen Entwicklung in einer Phase begann, als Entscheidungen noch eine geringe Rolle spielten. Grundlegende Informationen des Geruchssinns rufen deshalb beinahe automatisch ein bestimmtes Verhalten auf. Wird intensiver Rauch registriert, kann dieser von einem nahenden Feuer stammen, mit dem große Gefahren für Leib und Leben verbunden sind. Die von dieser Wahrnehmung ausgelöste Flucht des Tieres ist nicht Resultat einer Entscheidung nach Abwägung verschiedener Verhaltensvarianten, sondern eine mit der Wahrnehmung unmittelbar verbundene Reaktion. In diesem Sinne ist sie alternativlos. Die direkte Verknüpfung eines Geruchs mit einem vorherbestimmten Verhalten ist vor allem für solche Situationen typisch, bei denen es um das Überleben beziehungsweise um die Erhaltung der Art, also um die Vermehrung geht. Im Laufe der Entwicklung wurde der Geruchssinn jedoch komplexer, das heißt, mit ihm wurde nun eine Vielzahl von Informationen generiert. Die entstehenden komplexen Gerüche konnten schon wegen ihrer Vielfalt nicht mehr direkt mit bestimmten Verhaltensweisen gekoppelt werden. Sie fließen daher zusammen mit anderen Informationen in einem Entscheidungsprozess ein.

Ähnliches gilt für das Sehen. Entstanden war das Sehen zur Steuerung der Bewegungen und zum Erkennen von Gefahren. Bei einfachen Lebewesen wie den Fliegen löst die Information der Augen, dass sich Lichtverhältnisse verändert haben, direkt ein

Fluchtverhalten aus. Mit der Entwicklung der Augen zu komplexen Sinnesorganen musste auch hier die direkte Kopplung der Information mit einem Verhalten aufgelöst werden. Die Informationen der Augen flossen nun ebenfalls in einen Entscheidungsprozess zum weiteren Verhalten ein. Im Unterschied zum Geruch, bei dem das Gehirn als unwichtig eingestufte Informationen einfach unterdrückt, ist für das Sehen jedoch ein komplettes Bild erforderlich. Dieses Bild entsteht aus Rasterpunkten, für die eine riesige Zahl von Lichtsensoren verantwortlich ist. Die Sensoren zeigen an, ob sie Photonen registrieren oder nicht. Beide Möglichkeiten sind Informationen, die verarbeitet und voneinander abgegrenzt werden müssen. Beim Licht wird dies dadurch erreicht, dass dem Vorhandensein eines Impulses der Eindruck „hell“ zugeordnet wird, während das Fehlen als „dunkel“ erscheint. Diese Eindrücke, mithin hell und dunkel, kann man als Wahrnehmungsmuster verstehen. Muster vor allem deswegen, weil sie als neuronale Netze mit einer bestimmten Struktur im Gehirn vorgehalten werden. In diese Muster werden wie in eine Schablone die aktuellen Informationen eingefügt, so dass daraus komplexe visuelle Wahrnehmungen entstehen. Das wäre zumindest eine plausible Annahme.

Vergleichbares müsste auch auf die anderen Sinne zutreffen, das heißt, auch Geschmack und Düfte sowie Töne und Geräusche sind spezifische Wahrnehmungsmuster. Sie sind Teil der Informationsverarbeitung in der Großhirnrinde, wo sich für die einzelnen Sinne spezielle Areale herausbildeten. In diesen Arealen sind auch die mit diesen Sinnen verbundenen Erfahrungen gespeichert, da sie für die Identifizierung und Bewertung der Informationen benötigt werden. Kann einer Wahrnehmung eine Erfahrung zugeordnet werden, dann wird die

Bewertung dieser Erfahrung auf die aktuelle Wahrnehmung übertragen. Die Bewertung führt zur Ausschüttung von Botenstoffen, die ihrerseits bestimmte Zellen anregen, deren Aktivität als Gefühl wahrgenommen wird. Doch, warum wird die durch die Verknüpfung mit einer Erfahrung bereits vorgegebene Bewertung einer Information erst in ein Gefühl verwandelt, bevor sie in die Entscheidung einfließt? Die Besonderheit von Entscheidungen besteht ja gerade darin, dass eine Reihe von Informationen verschiedener Sinnesorgane gegeneinander abgewogen werden müssen. Dafür müssen sie irgendwie vergleichbar gemacht werden. Dies wird dadurch erreicht, dass von den verschiedenen Wahrnehmungen Gefühle ausgehen, die miteinander abgeglichen werden können. Der Abgleich der Gefühle erfolgt in einem speziellen Areal der Großhirnrinde. Nur, wie kann das Gehirn die Gefühle gegeneinander abwägen, um daraus eine Entscheidung herzuleiten?

Eine Möglichkeit für eine solche Abwägung besteht darin, den Quellen, aus denen die Informationen stammen, einen Stellenwert zuzuordnen. Bei den Primaten wird die Gesamtschau in starkem Maße durch visuelle Quellen geprägt, bei Hunden ist daneben der Geruchssinn von besonderer Bedeutung. Katzen verlassen sich eher auf das Gehör, während Maulwürfe ihre Entscheidungen vor allem auf den Tastsinn und den Geruchssinn gründen. Auf diese Weise entsteht eine artenspezifische Rangfolge der Informationsquellen, die in der Ausprägung der jeweiligen Sinnesorgane Entsprechung findet. Die Intensität eines Reizes könnte ebenfalls ein Bewertungskriterium für die eingehenden Informationen sein. Ein starker Geruch zeigt an, dass das wahrgenommene Objekt sehr nahe ist. Wird ein Geruch nach einem Abgleich mit Erfahrungen als harmlos eingestuft, bleibt er für die anstehende Entscheidung bedeutungslos. Ist er

einem gefährlichen Räuber zuzuordnen, ist höchste Wachsamkeit geboten, selbst wenn der Feind noch nicht gesichtet ward. Die beiden genannten Kriterien erklären jedoch noch nicht, wie unterschiedliche Informationen eines Sinnesorgans oder gleichstarke Reize verschiedener Sinne gegeneinander abgewogen werden. Für diese Frage müssen wir noch einmal darauf zurückkommen, wie Gefühle entstehen.

Gefühle werden durch Botenstoffe hervorgerufen, die Nervengeflechte oder andere Zellen im Körper anregen, deren Aktivität als Gefühl wahrgenommen wird. Die Freisetzung der Botenstoffe wird durch Informationen, die die Sinneszellen aus der Umwelt oder über die Bedürfnisse des Körpers liefern, ausgelöst. Welche Sinneszelle die Freisetzung welches Botenstoffs veranlasst, ist im Erbgut verankert. Diese Zuordnung hat sich im Laufe der Evolution herausgebildet und bewährt. Mit ihr entstand wahrscheinlich auch ein Ranking der Botenstoffe und damit der Gefühle, das die Bedeutung der ihnen zugrundeliegenden Informationen für das Überleben widerspiegelt. Je höher dieses Ranking ist, desto stärker wird das von ihm hervorgerufene Gefühl in die zu treffende Entscheidung einfließen, wobei die Intensität seiner Ausschüttung verstärkend oder dämpfend wirken kann. Dieses insgesamt bewährte System hat allerdings den Nachteil, dass auch Stoffe oder Verhaltensweisen, die dem Leben eher schaden, großen Einfluss auf Entscheidungen nehmen können, wenn sie mit der Ausschüttung von Botenstoffen verbunden sind, die starke angenehme Gefühle bescheren.

Neben den Informationen über die Außenwelt und den Informationen über die Bedürfnisse des Körpers müssen auch Informationen über die körperliche Verfassung, das heißt über Krankheiten und Schmerzen, in den Entscheidungsprozess

einfließen, denn sie können die Reaktionsmöglichkeiten einschränken. Ein Reh mit einem verletzten Lauf hat keine Chance dem Wolf durch Flucht zu entkommen. Seine Entscheidung kann nur darin bestehen, sich zu verstecken. Will sich das Reh verstecken, muss es eine Vorstellung von sich selbst haben. Größe und Fellfarbe müssen mit dem gewählten Versteck harmonisieren, damit es dem geübten Auge des Räubers entgeht. Mag sein, dass in diesem Fall das Reh lediglich einem ererbten Verhaltensmuster folgt, einige Tiere entwickelten jedoch Fähigkeiten, die sie nur dann sinnvoll einsetzen können, wenn sie eine Vorstellung von der eigenen Verfasstheit besitzen. Ist der Arm zu kurz, um an die Nuss zu gelangen, wird sich das Äffchen nach mehreren nutzlosen Versuchen vielleicht ein Stöckchen nehmen, um mit dessen Hilfe diese zu angeln. Damit hat es etwas über seine körperliche Begrenztheit erfahren und gleichzeitig sein Verhalten darauf eingestellt.

Die Einschätzung der eigenen Möglichkeiten erhält in einer Gruppe besondere Bedeutung. Eine Gruppe, ein sozialer Verbund, funktioniert nur, wenn jeder seine Stellung und seine Aufgaben kennt und entsprechend handelt. Das Kennen der eigenen Aufgaben schließt ein, dass man eine Vorstellung davon hat, wie die Stellung der anderen in dieser Gruppe ist. Dazu muss man die anderen auseinanderhalten, das heißt, man muss sie anhand physischer Besonderheiten wie Geschlecht, Alter und Körpergröße oder nach ihrem Geruch, dem Klang der Stimme und anderen Merkmalen unterscheiden können. Diese Unterscheidung setzt eine beachtliche Gedächtnisleistung voraus. Die Herausbildung sozialer Gruppen kann man also als einen Prozess ansehen, der eng mit der Ausprägung des Gedächtnisses und der Entstehung von Entscheidungsprozessen verbunden war. In diesem Sinne sind Fischschwärme oder

Insektenstaaten keine sozialen Gruppen. Ihr Verhalten wird durch ererbte Automatismen des Handelns bestimmt. Eine Bewertung von Situationen oder Verhaltensweisen findet bei ihnen nicht statt. Dinosaurier waren dagegen bereits in der Lage, komplexe Situationen zu erfassen und Entscheidungen zu Handlungsalternativen zu treffen. Die soziale Struktur ihrer Gruppen mag zwar vergleichsweise gering ausgeprägt gewesen sein, trotzdem erschloss ihnen das koordinierte Handeln Vorteile im Überlebenskampf.

Vögel bilden sehr unterschiedliche Zweckbünde. Man kann zeitweise oder dauerhafte Brutpaare beobachten, genauso wie Fluggemeinschaften in entfernte Weltengegenden oder Gruppen, die in einem begrenzten Lebensraum gemeinschaftlich den Nachwuchs hüten. Hierarchien spielen in ihren Gemeinschaften kaum eine Rolle. Wenn es in Vogelschwärmen notwendig wird, dass ein Tier die Führungsrolle übernimmt, zum Beispiel beim Flug in die Winterquartiere, dann wechseln sich die Tiere in dieser Aufgabe ab. Bei den Säugetieren sieht das anders aus. Zwar sind die sozialen Gruppen der Säugetiere ebenfalls vielgestaltig, es entstanden kleine Familienverbände genauso wie große Herden, aber bei ihnen ist eine Rangordnung die Regel. Zum Anführer einer Herde schwingen sich meist die stärksten Tiere auf, die dann für eine längere Zeit an der Spitze der Hierarchie stehen. Für beide Varianten ist jedoch charakteristisch, dass die Verantwortung der Entscheidungsfindung an einen Anführer abgegeben wird, obwohl jedes Tier selbst in der Lage wäre, Entscheidungen zu treffen. Sehr eindrucksvoll zeigen das Pferde, die am liebsten blind dem Leittier folgen. Signalisiert dieses eine Gefahr, rennen alle los, als wären sie selbst gerade gebissen worden. Herdentrieb soll auch bei Menschen beobachtet worden sein.

Mit der Zunahme der geistigen Fähigkeiten wurden die sozialen Beziehungen in den Gruppen vielschichtiger. Die einzelnen Mitglieder der Gruppe wurden von den anderen nun nicht mehr nur erkannt, sondern ihnen wurde unabhängig von der Rangstellung auch eine Bewertung beigegeben. Diese Bewertung drückt sich in einem Gefühl aus, das mit dem jeweiligen Individuum verbunden wird und dadurch das Verhalten zu ihm beeinflusst. Mit einigen pflegt man engeren Kontakt, weil man sie mag, anderen geht man lieber aus dem Weg. Raben begrüßen Artgenossen, die sie nicht kennen, mit einer deutlich tieferen und raueren Stimme als solche, die ihnen vertraut sind. Ihnen bekannte "freundliche" Raben werden mit höherer Stimme begrüßt als bekanntermaßen "unfreundliche". Das heißt, sie erkennen die unterschiedlichen Individuen und sie erinnern deren Bewertung, so dass diese in ihr Verhalten einfließen kann. Die Bewertung anderer wird nicht nur durch eigene Erlebnisse bestimmt, denn auch andere haben Erfahrungen mit diesem und jenem, die sie nicht für sich behalten. Die Weitergabe einer Bewertung kann bereits durch das Verhalten dem Betreffenden gegenüber erfolgen, da es von anderen beobachtet wird. Umgekehrt, lassen sich aus dem Verhalten der anderen Schlüsse zur eigenen Stellung in der Gruppe ziehen. Bewertungen werden aber auch auf direktem Wege kommuniziert, weil dadurch gezielt Einfluss auf das Verhalten der Gruppe genommen werden kann.

Die Übernahme von Erfahrungen anderer gewann für das Leben der Gemeinschaften in jeder Hinsicht große Bedeutung. Erfahrungen kann man zum Beispiel durch das Nachahmen von Handlungen übernehmen. Sieht die junge Katze, wie die Mutter eine Maus jagt, wird sie versuchen, es ihr nachzutun. Mit dem Nachahmen entsteht eine eigene Erfahrung, die vom Gedächtnis bewahrt wird. Erfahrungen können auch durch das gezielte

Vorspielen eines Geschehens weitergegeben werden. Auf diese Weise kann für den Lernenden das gute Gefühl des Erfolgs einer Aktion wie auch das unangenehme einer Niederlage erfahrbar werden, ohne dass er selbst dabei gewesen wäre. Im Alltag kann man ein erforderliches Verhalten allerdings nicht erst vorspielen, um jemanden zu einer Handlung zu bewegen. Die dafür notwendige Zeit wäre schlicht nicht vorhanden. Für die Verständigung zu den täglichen Anforderungen und Notwendigkeiten braucht man Signale, die ein bestimmtes Verhalten einfordern. Diese Signale muss man kennen, also irgendwann erlernt haben, damit sie abgerufen werden können. Einen Hund kann man trainieren, dass er Befehle in Form von Lautfolgen oder Gesten erkennt und das erwartete Verhalten abliefert. Das ist möglich, weil die Fähigkeit, Zeichen oder Laute mit einem bestimmten Verhalten zu verbinden, in der Natur des Hundes angelegt ist. Sie spielt auch bei der Kommunikation im Rudel eine Rolle.

Mit der wachsenden Bedeutung der Gruppen für das Leben des einzelnen wuchs auch der Stellenwert der sozialen Beziehungen für die Beurteilung einer Situation. Die sozialen Beziehungen wurden neben der natürlichen Umwelt und dem eigenen Körper zur dritten Wirklichkeit, mit der man sich bei seinen Entscheidungen auseinandersetzen muss. Welchen hohen Stellenwert die Gruppe für den einzelnen haben kann, lässt sich bei Menschenaffen gut beobachten. Ähnliche Beobachtungen würde man sicher auch bei unseren frühen Vorfahren machen können, deren Entwicklung nicht nur durch die Fertigung von Werkzeugen und eine beginnende Arbeitsteilung gekennzeichnet war, sondern auch durch die zunehmende Vielfalt ihrer sozialen Beziehungen. Diese waren häufig von Sympathien oder Antipathien geprägt, so dass gleiche Ereignisse eine

unterschiedliche Bewertung erfahren konnten, abhängig davon, wen sie betrafen. Das Missgeschick eines anderen konnte Mitgefühl auslösen, wenn dieser andere zu den Freunden zählte, oder Schadenfreude, wenn dies eher nicht der Fall war. Der Verlust eines Nahestehenden war ein schmerzliches Ereignis, der Tod eines Gegners mag dagegen als Triumph gefeiert worden sein. Mit der Herausbildung eines vielschichtigen Geflechts sozialer Beziehungen entstand auch die Möglichkeit, dass nicht der Stärkste oder Erfahrenste zum Anführer wurde, sondern dass insgeheim geschmiedete Bündnisse die Macht eroberten. Die Intrige trat ins Leben. Eine ihrer Besonderheiten besteht darin, dass nicht Sympathie zum Kriterium für die Auswahl der Bündnispartner wird, sondern ein Kalkül, das auf Machtzuwachs zielt. Macht sichert den Zugang zur besten Nahrung und sie eröffnet ungeahnte Möglichkeiten für die Verbreitung des eigenen Samens. Sie ist mit guten Gefühlen verbunden, weshalb jedes Mittel recht erscheint, diese zu erobern. Die wachsenden geistigen Fähigkeiten zielten also bereits bei unseren frühen Vorfahren nicht immer auf Nutz und Frommen der Gemeinschaft. Immerhin, die machtgierigen Ränkeschmiede bildeten auch bei ihnen sicher nur einen Teil der Gruppe, ein anderer versuchte Streit zu schlichten und ein friedliches Miteinander zu bewahren.

Eine der wichtigsten Errungenschaften der Gattung Mensch ist die Sprache. Sie wurde ihr bevorzugtes Mittel zur Verbreitung von Informationen. Mit der Sprache ist es auch möglich, Gedächtnisinhalte gezielt aufzurufen, wodurch Erfahrungen unabhängig von einem konkreten Anlass überprüft und modifiziert werden können. Außerdem wird es möglich, verschiedene Erfahrungen miteinander zu vergleichen und Gemeinsamkeiten ebenso wie Besonderheiten herauszufiltern. Kann man von den Besonderheiten einzelner Erfahrungen

abstrahieren, erhält man einen Extrakt, den wir als *Wissen* bezeichnen. Dieses Wissen lässt sich breiter für die Bewertung von Situationen einsetzen, als es mit konkreten Erfahrungen möglich ist. Mit der Sprache kann man darüber hinaus die Aufmerksamkeit anderer auf bestimmte Ereignisse oder Sachverhalte lenken und ihnen auf diese Weise helfen, Wesentliches zu erfassen. Sie kann aber auch dafür genutzt werden, um vom Wesentlichen abzulenken. Nicht zu vergessen, dass mit der Sprache auch eigenständig Informationen generiert und weitergegeben werden können, selbst wenn deren Wahrheitsgehalt zweifelhaft ist. So oder so, die Sprache eröffnete vielfältige Möglichkeiten, andere in ihren Gefühlen und damit in ihren Entscheidungen zu beeinflussen.

5. Menschen

Es werde Mensch

Die Frage, woher wir kommen, beschäftigt die Menschen wohl schon genauso lange wie die Frage, wohin wir nach dem Tode gehen. Zu dem „Woher“ hat Michelangelo mit seinem Fresco in der Sixtinischen Kapelle eine phantastische Darstellung gegeben. Würde er heute ein Bild über den Schöpfungsakt malen, dann müsste der erste Mensch allerdings eine dunkle Hautfarbe, schwarze Haare und braune Augen haben, schließlich kam er aus Afrika. Dass er in einem Schöpfungsakt entstanden sei, könnte man gelten lassen, erscheint doch das Auftauchen des modernen Menschen, gemessen an den Zeiträumen, in denen sich die Evolution vollzog, wie eine Laune der Natur. Diese Laune hatte jedoch eine Vorgeschichte.

Zu den Säugetieren, die bereits früh in komplexen Gemeinschaften lebten, gehörten die Primaten. In der Geschichte

der Primaten gab es vor etwa sieben Millionen Jahren eine Entwicklung, die besondere Bedeutung erlangte. Durch klimatische Veränderungen waren die großen Wälder Afrikas auf dem Rückzug und Savannen bedeckten weite Flächen des Kontinents. In Anpassung an die unterschiedlichen Lebensräume teilte sich eine bereits hochentwickelte Spezies von Primaten in zwei Linien. Die einen lebten weiterhin in den verbliebenen Wäldern, die anderen passten sich dem Leben in den Savannen an. Sie perfektionierten das Laufen auf zwei Beinen, da sie so über das hohe Gras hinausschauen und Raubtiere beizeiten erkennen konnten. Außerdem hatten die aufrecht Gehenden die Hände frei, die sie nutzten, um Pflanzen, Wurzeln und Früchte zu sammeln oder nach Muscheln, Algen und Schnecken zu suchen. Auch Eier, Insekten und andere Kleintiere haben sie sicher nicht verschmäht. Der mit dem aufrechten Gang verbundene gute Überblick mag sie darüber hinaus in die Lage versetzt haben, verendete Tiere von weitem zu erspähen. Sie waren allerdings nicht die einzigen, die nach einer derartigen Beute Ausschau hielten. Die Konkurrenten ließen ihnen meist nur geringe Fleischreste zurück, die sie immerhin mit scharfkantigen Steinen von den Knochen schaben konnten. Außerdem bargen die Knochen einen Schatz, das fett- und mineralstoffreiche Mark, das allerdings nur erreicht werden konnte, wenn man in der Lage war, die Knochen aufzubrechen. Dazu konnte man spitze Steine oder solche mit scharfen Kanten verwenden. Da diese nicht überall zu finden waren, musste man vorgefundene Steine irgendwie bearbeiteten, damit sie zu brauchbaren Werkzeugen wurden.

Vor zirka 2,5 Millionen Jahren traten neuerlich klimatische Veränderungen ein, die dieses Mal mit wiederkehrenden Trockenperioden verbunden waren. Die Pflanzen bildeten nun stärkere Schalen aus, um sich vor Austrocknung zu schützen. Um

diese Pflanzen trotzdem als Nahrung nutzen zu können, entwickelten einige Gruppen der in den Savannen lebenden Primaten einen gewaltigen Kauapparat mit starken Kiefern und breiten Zähnen. Als sich die klimatischen Verhältnisse wieder normalisierten, wurde der überdimensionierte Kauapparat überflüssig, ja hinderlich. Er verschwand und mit ihm die durch ihn gekennzeichneten Arten. Andere Gruppen hatten Hilfsmittel benutzt, um die harten Schalen der Pflanzen zu zerkleinern. Nach der erneuten Veränderung der natürlichen Bedingungen konnten sie ihre Werkzeuge modifizieren, ohne dass sie selbst als Art gefährdet waren. Die mit den Werkzeugen gewonnene Flexibilität erwies sich als ein entscheidender Vorteil bei der Anpassung an sich verändernde Existenzbedingungen.

Die Werkzeuge und Jagdgeräte sowie deren Handhabung entwickelten sich weiter, so dass mit der Zeit auch mehr tierische Nahrung erbeutet werden konnte. Diese Nahrung mit ihrem Reichtum an Energie und Mineralen trug dazu bei, dass die Individuen wie auch ihre Gehirne größer wurden. Ihr intellektuelles Potenzial nahm zu, was unter anderem einer weiteren Verbesserung der Werkzeuge und Jagdgeräte zugutekam. Das Wissen um deren Herstellung und Verwendung wurde zu einem überlebenswichtigen Schatz, den es zu bewahren und weiterzugeben galt. Schritt für Schritt bildete sich Arten heraus, die Werkzeuge den Anforderungen entsprechend modifizieren und gezielt einsetzen konnten, die das Leben und Überleben der Gruppe gemeinschaftlich organisierten und die die gesammelten Erfahrungen über Generationen hinaus bewahrten. Damit hoben sie sich von ihren Vorfahren ab. Die aus dieser Entwicklung hervorgegangenen Arten werden deshalb einer gesonderten Gattung, der Gattung Mensch, zugerechnet.

Dem im Folgenden skizzierten Stammbaum des Menschen habe ich die Veröffentlichung der GEO kompakt Nr. 41, Der Neandertaler, zugrunde gelegt. Es sei darauf verwiesen, dass auch andere Modelle diskutiert werden.

Die erste Art, die der Gattung Mensch zugeschrieben wird, ist der Homo habilis. Er begann seinen Weg vor rund 2,5 Millionen Jahren in Afrika. Sein Aussehen unterschied sich bereits deutlich von dem der äffischen Primaten. Er konnte seine Hände geschickt einsetzen und einfache Werkzeuge herstellen. Darüber hinaus war er ein guter Läufer, der es vermochte, den Wildherden zu folgen und Fleisch zu erbeuten, dessen Nährstoffreichtum seiner weiteren Entwicklung zugutekam. Ausdauerndes Laufen verbraucht viel Energie, die der Körper durch Verbrennungsprozesse freisetzt. Dabei entsteht Wärme, die schnell nach außen abgegeben werden muss, soll der Körper nicht überhitzen. Ein dichtes Fell ist da nur hinderlich. Der Homo habilis entledigte sich seines Pelzes und lief fortan nackt durch die Savanne. Außerdem bildete er Drüsen aus, die bei großer Anstrengung Flüssigkeit absonderten, durch deren Verdunstung dem Körper Wärme entzogen wird. Mit den Haaren ging jedoch auch der Schutz der Haut vor den harten Strahlen der afrikanischen Sonne verloren. Sie bildete nun dunkle Pigmente, die einen großen Teil dieser Strahlung absorbieren.

Für den Homo habilis wurden die läuferischen Fähigkeiten zur Überlebensgarantie. Für ausdauerndes Laufen ist ein schmales Becken von Vorteil. Durch die nährstoffreiche tierische Nahrung wurden die Homo habilis jedoch größer, auch das Gehirn nahm an Volumen zu. Der ebenfalls größer werdende Kopf, der zum Schutz des Gehirns bereits bei der Geburt eine relativ stabile Form besitzt, machte einen breiteren Geburtskanal erforderlich, der wiederum nicht mit einem schmalen Becken vereinbar war.

Außerdem verbraucht so ein Gehirn viel Energie, deren Bereitstellung im Mutterleib an Grenzen stieß. Was auch immer der ausschlaggebende Grund gewesen sein mag, die Tragezeit der *Homo habilis* verkürzte sich. Damit verlagerte sich ein größerer Teil des Reifungsprozesses in die nachgeburtliche Phase, was wiederum eine längere und aufwendigere Fürsorge für die Neugeborenen erforderlich machte. Diese Aufgabe fiel naturgemäß den Müttern zu. Während andere den Wildherden folgten, um tierische Nahrung zu beschaffen, blieben die Mütter im Lager, wo sie die Kinder hüteten und durch das Sammeln von Wurzeln und Früchten zur Ernährung beitrugen.

Die Zunahme ihres geistigen Potenzials ermöglichte den Menschen, die Werkzeuge immer weiter zu verbessern und in zunehmenden Maß Wild zu erbeuten. Auch das Zusammenleben in den Gruppen entwickelte sich, so dass die Anforderungen an die Kommunikation wuchsen. Fortschritte in der Kommunikation kamen wiederum der gemeinsamen Jagd und damit der Ernährung zugute. *Peu á peu* ging die Entwicklung voran, manchmal machte sie wohl auch Umwege. Wie dem auch sei, vor rund 1,9 Millionen Jahren hatte sich eine neue Spezies der Gattung Mensch, der *Homo ergaster*, herausgebildet. Er sah dem heutigen Menschen schon ziemlich ähnlich. Der *Homo ergaster* war ebenfalls ein ausdauernder Läufer und ein darüber hinaus ein erfolgreicher Jäger, dessen Beute längst nicht mehr nur aus verletzten oder gar verendeten Tieren bestand. Der Faustkeil war zu seinem universellen Werkzeug geworden, das er mit großem Geschick einzusetzen wusste. Er verwendete Häute und Tierfelle, um seinen Körper zu schützen, und es gelang ihm, sich das Feuer zunutze zu machen.

Rund 100.000 Jahre später trat ein weiterer Vertreter der Gattung Mensch ins Rampenlicht, der *Homo erectus*. Er scheint aus

Populationen des Homo ergaster, die auf der Suche nach neuen Jagdgründen in Richtung Asien ausgewandert waren, hervorgegangen zu sein. Auch der Homo erectus war ein ausdauernder Läufer, doch er ersann auch neue Jagdstrategien, um mehr und vielfältigere Beute zu erlegen. So fand man nicht nur Pfeil- und Speerspitzen, sondern auch Harpunen und Angeln, die ihm zugeordnet werden. Er benutzte Werkzeuge, die von ihm weiterentwickelt oder gar neu ersonnen worden waren. Darüber hinaus fand man von ihm gefertigten Schmuck, den man als Ausdruck eines gestiegenen Selbstbewusstseins ansehen kann. Die allgemein größer gewordene Bandbreite der Fertigkeiten brachte es mit sich, dass sich einige von ihnen durch besondere Fähigkeiten auf dem einen oder anderen Gebiet hervortaten. Sie hoben sich von anderen ab, was sie durch besondere Kleidung aber auch durch Schmuck unterstrichen. Die soziale Struktur der Gruppen wurde vielschichtiger, wodurch auch die Anforderungen an die Kommunikation wuchsen. Immer mehr Lautkombinationen und ganze Lautfolgen wurden für die Bezeichnung der Dinge und Sachverhalte benötigt. In diesem Kontext entwickelten sich nicht nur die geistigen Fähigkeiten des Homo erectus, auch physische Veränderungen zur besseren Lautbildung, wie die Absenkung des Kehlkopfes, vollzogen sich.

Der Homo ergaster wie auch der Homo erectus existierten rund eine Millionen Jahre. In dieser langen Zeitspanne entstanden immer wieder Gruppen, die sich durch besondere Merkmale und Eigenschaften auszeichneten. Waren sie im Überlebenskampf erfolgreich, dann breitete sich ihre Population aus, so dass einige dieser Gruppen zu eigenständigen Arten avancierten. Besondere Bedeutung für die Herausbildung des modernen Menschen erlangte der Homo heidelbergensis, der vor rund 800.000 Jahren in Afrika in Erscheinung trat. Er war ein muskulöser Jäger, der mit

seinen hölzernen Wurfspeeren auch größere Tiere erlegte. Sein großes Gehirn deutet darauf hin, dass er über ausgeprägte Sinne verfügte, die ihm bei der Jagd aber auch beim Schutz vor gefährlichen Raubtieren gute Dienste leisteten. Auf ihren Streifzügen gelangten Gruppen dieser Spezies nach Europa und Asien, andere blieben in Afrika. Die Gruppen, die nach Europa kamen, fanden dort ausreichend Wild vor. Außerdem gab es deutlich weniger krankmachende Insekten, die in manchen Teilen Afrikas das Leben nahezu unmöglich gemacht hatten. Dafür mussten im Norden Klimaschwankungen mit wiederkehrenden Perioden lebensfeindlicher Kälte überstanden werden. In dem damit verbundenen Auswahl- und Anpassungsprozess entstand vor rund 200.000 Jahren die Spezies der Neandertaler.

Die Neandertaler waren noch muskulöser und stämmiger als ihre Vorfahren. Die große Körperkraft gepaart mit ausgeprägten Sinnen ließ sie zu erfolgreichen Großwildjägern werden. Auch ihre handwerklichen Fähigkeiten waren beachtlich. Die Neandertaler stellten Werkzeuge wie Faustkeile, Schaber, Spitzen und längliche Klingen her, die sie dem jeweiligen Verwendungszweck anzupassen wussten. Sie bearbeiteten Tierfelle und fertigten daraus Kleidung und Decken, um sich vor der Kälte zu schützen. Außerdem gelten die Neandertaler als Erfinder des Klebstoffs. Sie benutzten Birkenpech, um damit Steinspitzen an Speeren zu befestigen. Mit diesen Waffen konnten sie sogar Mammuts attackieren. Die Großwildjagd brachte viel Fleisch, das sie in der meist herrschenden Kälte über lange Zeit genießbar halten konnten. Die Großwildjagd war aber auch ein gefährliches Unterfangen, denn aus Verletzungen konnten dauerhafte körperliche Schäden entstehen. Die insgesamt schwierigen Lebensbedingungen schlugen sich in einer relativ geringen

Lebenserwartung der Neandertaler nieder. Ihre Gruppen waren meist klein und auf die engere Familie beschränkt.

In Afrika ging aus dem Homo heidelbergensis vor 300.000 Jahren ebenfalls eine neue Art hervor, der Homo sapiens. Auch er hatte mit den Unbilden der Natur zu kämpfen. In Afrika waren es wiederkehrende Dürren, in denen nur diejenigen eine Überlebenschance besaßen, die ausreichend tierische Nahrung erbeuteten. In der Savanne war dazu allerdings nicht so sehr ein Zuwachs an Körperkraft gefragt, als vielmehr eine weitere Verbesserung der läuferischen Fähigkeiten. Vor diesem Hintergrund griffen genetische Veränderungen Raum, die den Homo sapiens zu einem überaus ausdauernden Läufer machten. Er war in der Lage, Wild bis zur Erschöpfung zu hetzen. Außerdem hatten ihm seine Erfahrungen gelehrt, sich im Vorhinein Wasserdepots anzulegen, die ihm bei seinem Vorhaben halfen. Für diese Annahme spricht, dass man noch heute bei einigen afrikanischen Stämmen ein ähnliches Jagdverhalten beobachten kann. Ausdauer und geistige Flexibilität waren aber nicht nur für die Jagd von Bedeutung, sie waren auch wichtige Voraussetzungen, um anderen Jägern, wie schnellen und wendigen Raubkatzen, zu entkommen. Seine geistige Beweglichkeit ermöglichte dem Homo sapiens auch, immer wieder Ideen für die Verbesserung der Waffen und Werkzeuge zu entwickeln. Darin waren sie ihren Vettern im kalten Europa womöglich voraus. Gemeinsam war ihnen der Drang zur Wanderschaft, der aus der steten Suche nach jagdbarem Wild erwuchs. Während die Neandertaler dabei weite Teile Asiens erkundeten, verbreiteten sich die Homo sapiens über den afrikanischen Kontinent, bevor sie vor rund 125.000 Jahren in den Nahen Osten vordrangen. Von dort verschlug es sie nach Asien,

Australien und nach Europa, wo sie vor allem Gebiete, aus denen andere Menschenarten verschwunden waren, besetzten.

Wieso aber konnten die Homo sapiens während der Kaltzeit nach Europa einwandern und dort überleben, obwohl sie als Afrikaner doch eigentlich nicht für dieses Klima geschaffen waren? Und wieso überlebten die Neandertaler, die doch eigentlich perfekt den klimatischen Bedingungen angepasst sein sollten, diese Zeit nicht? Die Neandertaler waren zwar gut an die rauen klimatischen Verhältnisse des Nordens angepasst, trotzdem machten ihnen die Klimaschwankungen und vor allem die drastischen Kälteeinbrüche schwer zu schaffen. Sie waren kräftige Jäger, aber ihre Muskeln wie auch ihr großes Gehirn verbrauchten viel Energie. Wurde die Jagd schwieriger, weil Teile des Wilds einen Kälteeinbruch nicht überlebt hatten oder davongezogen waren, dann wurde es auch für die Neandertaler eng. Immer wieder wurde ihre Population dezimiert und in einzelnen Gebieten sogar gänzlich ausgelöscht. Man geht davon aus, dass selbst in besseren Zeiten höchstens 70.000 ihrer Art in den Weiten des Nordens von Spanien bis Sibirien unterwegs waren. In schlechten Zeiten mögen es deutlich weniger gewesen sein, die in kleinen Gruppen und mit wenig Kontakt untereinander umherzogen. Unter solchen Umständen konnte schon das unglückliche Aufeinandertreffen mehrerer lebensfeindlicher Faktoren zum Erlöschen der gesamten Population führen. Dies war wohl vor rund 39.000 Jahren der Fall.

Aber da ist immer noch die Frage, wieso die Homo sapiens dort überleben konnten, wo die Neandertaler ausstarben. Während die Neandertaler für die Großwildjagd starke Muskeln und scharfe Sinne entwickelt hatten, die viel Energie verbrauchten, besaßen die Homo sapiens als ausdauernde Läufer einen eher schmalen Körperbau, der deutlich weniger Energie benötigte. Sie

waren zur Deckung ihres Bedarfs nicht auf die Großwildjagd angewiesen. Kleinere Tiere, ergänzt durch pflanzliche Kost, konnten ihren Energiehunger stillen. Allerdings, wer weniger gehaltvolle Nahrung verstoffwechselt, produziert auch weniger Wärme und friert schneller. Diesen Nachteil glichen die Homo sapiens durch bessere Kleidung aus, die sie mit den von ihnen erfundenen Nähnadeln fertigten. Außerdem konnten sie Feuer machen, das sie sowohl als Wärmequelle, als auch zur Aufbereitung der Nahrung nutzten. Es wurde nicht nur Fleisch gegart, auch Pflanzen und deren Früchte, darunter solche, die sonst nur schlecht oder gar nicht für die Ernährung taugten, konnten mit Hilfe des Feuers zubereitet werden. Und sie brachten Neuerungen wie die Gärung mit, so dass die Kost insgesamt alternativreicher wurde.

Waren die Homo sapiens intelligenter als die Neandertaler, obwohl ihr Gehirn doch offensichtlich kleiner war? Mag sein, dass die Neandertaler leichte Vorteile hinsichtlich der Schärfe ihrer Sinne besaßen, hinsichtlich ihrer Möglichkeiten zur Informationsverarbeitung waren beide Arten jedoch sehr ähnlich. Höhlenmalereien zeugen davon, dass auch die Neandertaler über die Fähigkeit zur Abstraktion verfügten. Der entscheidende Unterschied zwischen den Arten entstand wahrscheinlich durch die sozialen Verbände, in denen sie lebten. Die Neandertaler zogen in kleinen, auf die engere Familie beschränkten Gruppen durch die Lande, wobei sie nur selten auf ihresgleichen trafen. In ihren, auf die gemeinsame Jagd fokussierten Gemeinschaften entstanden wenig Anreize zur Entwicklung der Kommunikation. Die Gruppen der Homo sapiens waren dagegen immer größer geworden, nicht zuletzt, weil die gesamte Population wuchs. Dieses Wachstum fußte auf einer breiteren Ernährungsbasis, die eine schnellere Geburtenfolge ermöglichte. Außerdem nahm die

Lebenserwartung der Individuen zu, vor allem, weil sie sich besser zu schützen vermochten und weil sie nicht auf die gefährliche Großwildjagd angewiesen waren. In den größer werdenden Gemeinschaften wuchs das Bedürfnis nach Kommunikation, deren Entwicklung wiederum den Zusammenhalt der Gruppen stärkte. Außerdem fanden sich in größeren Gemeinschaften öfter Individuen, die über besondere Fähigkeiten verfügten und die mit ihren Kenntnissen den Erfahrungsschatz der Gruppe in hohem Maß bereicherten. Der in den Gemeinschaften stetig wachsende Schatz an Erfahrungen wurde zu ihrem entscheidenden Vorteil im Überlebenskampf.

Jäger und Sammler

Das Tempo, mit dem sich die Homo sapiens vermehrten, ist eindrucksvoll. Am Beginn ihres Weges vor 300.000 Jahren sollen rund 10.000 Individuen auf den Beinen gewesen sein, als sie vor 12.000 Jahren sesshaft wurden, waren es bereits eine Million. Das stete Wachstum der Population führte unter anderem zu einer stärker werdenden Konkurrenz der Sippen um die Jagdgründe. Einige waren gezwungen, in neue Gebiete auszuweichen, so dass sich die Homo sapiens nach und nach über den ganzen Globus verbreiteten. In ihren größer werdenden Gemeinschaften war nicht mehr jeder für alles zuständig. Neben die natürliche Arbeitsteilung zwischen Frauen und Männern trat eine Aufgabenteilung, die aus physischen Besonderheiten, aus Talenten und Neigungen der Menschen entsprang. Damit wurden auch die Beziehungen der Menschen untereinander vielfältiger. Die daraus hervorgegangenen frühen Formen ihrer Gesellschaften hat man als Urgesellschaften oder als Gesellschaften der Jäger und Sammler bezeichnet. In dieser Zeit hing das Überleben der Menschen maßgeblich vom Jagderfolg ab. Die Jagd bestimmte ihren Lebensrhythmus. Trotz dieser für alle

geltenden Lebensgrundlage waren die Urgesellschaften in den verschiedenen Weltengegenden unterschiedlich verfasst, was sich nicht zuletzt aus den unterschiedlichen Bedingungen, mit denen sie klarkommen mussten, erklärt. Urgesellschaften gab es darüber hinaus tausende von Jahren, in denen sie sich immer wieder an veränderte Bedingungen anpassen mussten. Trotz der daraus resultierenden Unterschiede lassen sich auch gemeinsame Merkmale und Tendenzen ihrer Entwicklung ausmachen. So wurden die unterschiedlichen Fähigkeiten der Menschen beinahe überall zum Ausgangspunkt für die Entwicklung einer Arbeitsteilung. Einige von ihnen waren besonders stark, andere besonders geschickt, einige verfügten über ein gutes Gedächtnis, andere über eine hohe soziale Kompetenz, Fähigkeiten, die sie für besondere Aufgaben prädestinierten. Der erfahrenste Jäger wird die gemeinsame Jagd vorbereitet haben, vielleicht führte er auch das Jungvolk in deren Geheimnisse ein. Für die Herstellung der immer wichtiger werdenden Werkzeuge und Waffen wurden Erfahrungen und Fertigkeiten gebraucht, über die nicht jeder verfügte. Die Gemeinschaft benötigte auch Unterkünfte, Kleidung und Schmuck, für deren Herstellung und Instandhaltung ebenfalls nicht jeder das gleiche Geschick besaß. Aber nicht nur handwerkliche Fähigkeiten machten einen Unterschied. Es gab auch Frauen und Männer, die mehr als andere über Pflanzen und deren Wirkung auf Mensch und Tier wussten. Mit Hilfe dieser Pflanzen konnten Wunden geheilt oder Gebrechen gelindert werden. Manche von ihnen hatten eine betäubende oder gar tödliche Wirkung, andere erzeugten rauschartige Zustände. Das Wissen um diese Dinge muss den anderen geheimnisvoll erschienen sein. Das Geheimnisvolle dieses Wissens übertrug sich auf die Personen, die mit ihm umgingen. Ihnen wurde mit Ehrfurcht begegnet, das heißt, sie wurden verehrt aber auch

gefürchtet. Diese Frauen und Männer waren sich ihrer besonderen Stellung durchaus bewusst. Sie unterstrichen diese durch äußere Attribute, durch spezielle Kleidung oder Schmuck.

Außer Medizinmännern und Heilerinnen bedienten sich auch andere äußerer Attribute, um ihre Stellung zu unterstreichen. Geschickte Jäger oder erfahrene Krieger schmückten sich zum Beispiel mit Trophäen ihres Erfolgs. Jeder konnte dies auf seine Weise tun. Nach und nach bildeten sich jedoch allgemein beachtete Standards heraus, die es ermöglichten, die Stellung des einzelnen in der Gemeinschaft an diesen äußeren Zeichen abzulesen. Sie wurden zu Statussymbolen, die diesen Menschen vorbehalten waren. Diese Statussymbole, genauso wie Kleidung, Werkzeuge und Waffen, gehörten zu einzelnen Personen, sie bildeten deren persönliche Habe. Eine nicht autorisierte Verwendung dieser Dinge konnte zu Konflikten führen. Trotzdem war mit diesen Dingen kein „Eigentum“ im heutigen Sinn verbunden, denn dieses setzt eine mögliche Veräußerung des jeweiligen Gutes voraus. Ein veräußerungsfähiger Überschuss an Dingen war jedoch mit der Lebensweise der Jäger und Sammler, die nur das Notwendigste auf ihren Wanderungen mitnehmen konnten, nicht vereinbar. Außerdem waren die Gemeinschaften auf Solidarität angewiesen, die nicht durch die übermäßige Betonung der Unterschiede gefährdet werden durfte.

Die Jäger und Sammler waren Nomaden, die zur Sicherung ihrer Ernährung den Tieren folgten. Trotzdem kamen sie sicher gern zu bestimmten, vorteilhaft gelegenen Unterkünften zurück, die dann zur Basis für mehr oder weniger lange Streifzüge wurden. Für die Ausgestaltung dieser Behausungen wurde mitunter einiger Aufwand betrieben. Handelte es sich um Höhlen, konnten zum Beispiel die Wände bemalt werden. Bevorzugte Motive waren Tiere und Jagdszenen, schließlich hing vom erbeuteten

Wild das eigene Überleben ab. Vielleicht sollte die bildliche Darstellung von Tieren oder Jagdszenen auch zur Versöhnung mit den getöteten Kreaturen beitragen. Waren keine Höhlen vorhanden, konnten Basislager aus Zelten oder einfachen Holzbauten eine vergleichbare Bedeutung erlangen. Die Behausungen in diesen Lagern waren stabiler als die auf der Jagd verwendeten. Sie konnten eine Kochmulde, einen Rauchabzug oder andere Annehmlichkeiten enthalten. Leicht zerbrechliche Gegenstände, die auf den Jagdzügen eher hinderlich waren, konnten ebenfalls dort verbleiben. Je mehr Komfort mit den Basislagern verbunden war, desto attraktiver wurden sie für ihre Bewohner. Ihre Nutzung wurde jedoch immer wieder durch den Zwang, den Tierherden zu folgen, begrenzt.

Die Beziehungen, die sich innerhalb der Gemeinschaften entwickelten, waren durch familiäre Bande geprägt. Sie wurden durch Kontakte zu anderen Sippen ergänzt. Bei diesen Treffen tauschte man Neuigkeiten und Erfahrungen aus, vielleicht wurde auch ein Weib gefreit. Sicher hat man auch Werkzeuge und Waffen getauscht, denn die Sippen entwickelten unterschiedliche handwerkliche Fähigkeiten und Stärken. Darüber hinaus wechselten Schmuckstücke, die sich durch besondere Materialien oder durch die Kunstfertigkeit ihrer Herstellung auszeichneten, den Besitzer. Auch Gegenstände, die eher einem künstlerischen Anspruch genügten wie kleine Figuren oder Musikinstrumente wurden weitergegeben. Einige Dinge wie seltene Muscheln oder Federn spielten, da sie allgemein begehrt waren, bald eine besondere Rolle. Man konnte sie jederzeit als Tauschobjekte akzeptieren, da sie bei Bedarf problemlos in andere Dinge eingetauscht werden konnten. Charakteristisch ist, dass der Tausch vorwiegend zwischen den Sippen stattfand und dass der daraus gezogene Vorteil der Gemeinschaft zugutekam.

Die Begegnungen mit anderen Clans mögen allerdings nicht immer friedlich verlaufen sein. Mitunter ging es um Leben und Tod, zum Beispiel dann, wenn Streit um die Jagdgebiete entbrannte. Auch auf einen solchen Fall mussten die Sippen vorbereitet sein. Wahrscheinlich wurde dem erfahrensten Kämpfer aufgetragen, die Ausbildung der zukünftigen Krieger zu sichern. Streit gab es aber nicht nur mit anderen Sippen, auch im Zusammenleben traten Konflikte auf, zu deren Regelung sich Rituale wie Wettkämpfe oder öffentliche Dispute herausbildeten. Sie wurden von einer allseits geachteten Person geleitet, die die Einhaltung der Regeln überwachte und das Ergebnis verkündete. Mit der Zeit mag dieser Schiedsrichter anstehende Streitfragen auch auf der Basis seiner Erfahrungen und der ihm zugewachsenen Autorität entschieden haben, ohne die zeitaufwendigen Rituale zu bemühen. Trotzdem blieben die Rituale ein wichtiger Faktor für den Zusammenhalt der Gemeinschaft. Ähnliches gilt für die gemeinsame Beratung und Entscheidung wichtiger Fragen des Zusammenlebens. Zu welchen Themen Beratungen stattfanden, wer daran teilnehmen und wer mitreden durfte, war in den Gemeinschaften unterschiedlich geregelt.

Regeln, oft in Form von Tabus, betrafen beinahe alle Facetten des Zusammenlebens. Sie hatten sich bewährt und wurden von Generation zu Generation weitergetragen. Für ihre Einhaltung sorgte die Gemeinschaft, wobei auch hier einzelnen besondere Verantwortung zuteilwerden konnte. Die Regeln wiesen jedem seine Rolle in der Gemeinschaft zu und sie verlangten einen bestimmten Umgang miteinander. Mit den Regeln waren häufig Rituale verbunden, deren Achtung zum Bestandteil der Regeln wurde. Die wichtigsten betrafen die für das Leben bedeutsamen Momente wie die Geburt eines Kindes, die Aufnahme in den Kreis

der Erwachsenen, die Vermählung oder den Tod. Es ist irgendwie paradox, dass ausgereicht der Tod als Sinnbild der Vergänglichkeit bleibende Spuren in Form von Grabbeilagen hinterließ.

Mit der inneren Struktur der Gemeinschaften entwickelte sich auch ihre Sprache weiter. Anfänglich mögen die benutzten Laute und Lautkombinationen über Sippengrenzen hinweg verstanden worden sein. Sie waren in ihrer Zahl beschränkt und fanden durch den Kontakt untereinander Verbreitung. Nach und nach entstanden in den Gemeinschaften jedoch eigenständige Gewohnheiten der Kommunikation, vor allem, weil die Gruppen größer wurden und das Leben in ihnen vielfältiger. Je mehr sich die Population territorial ausdehnte, umso mehr unterschieden sich auch die Lebensumstände der einzelnen Gruppen voneinander, was ebenfalls in Besonderheiten der Kommunikation Niederschlag fand. Da man schon wegen der Entfernungen mit vielen Sippen kaum mehr Kontakt aufnehmen konnte, prägten sich diese Besonderheiten immer stärker aus. Unterschiedliche Sprachen und Dialekte entwickelten sich. Sie trugen zur Stärkung des Zusammenhalts der jeweiligen Gemeinschaften bei, sie führten aber auch zur Entfremdung von anderen. Als eine Folge dieses Prozesses entstanden neben den Sippen größere, durch Sprache und Tradition verbundene Sprachfamilien und Stämme, die sich mehr und mehr von anderen abgrenzten.

Mit der Sprache verständigte man sich zu Erfordernissen des Alltags und man tauschte Erfahrungen aus. Derjenige, der sich Erfahrungen eines anderen zu eigen machen will, muss sie mit eigenen Erfahrungen verbinden, sie in der einen oder anderen Weise den eigenen Erfahrungen zuordnen. Eine solche Zuordnung fällt leichter, wenn die Erfahrung auf Wesentliches reduziert ist. Die Reduzierung auf Wesentliches ermöglichte auch

eine schnellere Verständigung zu anstehenden Aufgaben. Während die ersten Laute und Lautkombinationen noch sehr spezifische Sachverhalte bezeichneten, begannen die entstehenden Wörter auf übergreifende Charakteristika der Dinge und Geschehnisse abzuheben. Sie wurden zu Begriffen, die von Details abstrahieren. Ein Löffel ist ein Löffel, egal, ob er aus Holz oder Bein gefertigt wurde, ob er lang oder kurz, gerade oder gebogen ist. Falls es erforderlich war, konnte durch das Hinzufügen weiterer Wörter eine Differenzierung der Dinge erfolgen. Die Entwicklung der Sprache war also einerseits von der Ausprägung des Abstraktionsvermögens und andererseits von der Fähigkeit zur Kombination von Lautfolgen und Wörtern gekennzeichnet. Damit taugte die Sprache nicht mehr nur zur Verständigung, sondern auch zur Formulierung und Weitergabe von Wissen, Meinungen und Ideen.

Das Wissen der damaligen Menschen war auf Beobachtungen der Natur aber auch auf das Erkennen von Zusammenhängen im Leben der Gemeinschaft gegründet. Zu ihrem Wissen gehörten Kenntnisse über essbare Pflanzen und deren Zubereitung genauso wie Erfahrungen über die heilende Wirkung einiger Arten. Man hatte darüber hinaus gelernt, die Spuren der Tiere zu erkennen und sich deren Gewohnheiten und Eigenarten bei der Jagd zunutze zu machen. Außerdem konnten Zusammenhänge zwischen dem Verhalten der Tiere und beobachteten Naturerscheinungen gedeutet werden. Trotzdem blieb vieles unerklärlich. Warum blitzte und donnerte es? Warum hatte man an dem einen Tag Jagderfolg und dann wieder lange Zeit nicht? Woher kamen Krankheiten und wohin gingen die Menschen nach ihrem Tod? Dort wo sie keine konkreten Antworten fanden, leiteten die Menschen plausible Erklärungen aus Erfahrungen ihres Alltags ab. Von den Vorfahren hatten sie zum Beispiel

gelernt, dass Tiere und Pflanzen Wesen seien, denen man Achtung entgegenbringen muss, wollte man weiterhin ihr Fleisch beziehungsweise ihre Samen nutzen. Da es in der Sippe ein Oberhaupt gab, das Streitfragen regelte, war es nur wahrscheinlich, dass es auch bei den Tieren Häuptlinge gab, die es zu besänftigen galt, wenn man ihrer Sippe Leid zugefügt hatte. Damit war aber noch nicht geklärt, warum es blitzte und donnerte. Vielleicht gab es jemanden im Himmel, der einem Vater gleich ab und an seinem Zorn über das Treiben auf Erden Luft verschaffen musste. Ihn galt es mit Gesängen, Gebeten oder auch Opfern milde zu stimmen.

Nach und nach entstand ein Geflecht von Anschauungen über die Natur und die Menschen, bestehend aus Erfahrungen, Regeln, Ritualen und Überzeugungen, das zum Allgemeingut wurde. Diese gemeinsamen Anschauungen bildeten ein Band, das die Gemeinschaft festigte und sie gleichzeitig von anderen abgrenzte. Diese Anschauungen wurden mit der Zeit immer vielfältiger, so dass bald nicht mehr jeder in der Lage war, alle ihre Feinheiten zu überblicken, weshalb einzelne berufen wurden, dieses spezielle Wissen zu bewahren und weiterzugeben. Besonders wichtig schien es, die mit den grundlegenden Überzeugungen verbundenen Rituale genauestens einzuhalten, waren die in diesem Glauben Angesprochenen doch überaus mächtig. Personen, die zur Zwiesprache mit den Göttern berufen waren, nahmen bald eine besondere Stellung in den Gemeinschaften ein. Da für die Menschen Behausungen wichtiger wurden, war es darüber hinaus nur folgerichtig, auch den Göttern Behausungen zu errichten, damit sie eine Heimstatt hätten und den Menschen ein Ort der Begegnung mit ihnen gegeben wäre.

Bauerngesellschaften

Die Jagd hatte für das Überleben der Homo sapiens eine entscheidende Rolle gespielt. Zum Ende der Kaltzeit vor rund 12.000 Jahren setzte jedoch ein Massensterben von Arten ein, darunter wichtiger Beutetiere der Menschen. Gleichzeitig wurde die Vegetation vielerorts üppiger. Da traf es sich gut, dass die Menschen bereits Erfahrungen mit der Zubereitung von Pflanzen für die Ernährung gesammelt hatten. Es wurden Körner zu Mehl gemahlen, um daraus Brot zu backen, das über eine längere Zeit genießbar blieb. Man hatte gelernt, Gefäße, wie Schalen und Töpfe, aus Keramik herzustellen, in denen Pflanzen zu schmackhaften Gerichten verkocht werden konnten. Sie konnten auch zur Aufbewahrung von Körnern, Nüssen und anderen Lebensmitteln verwendet werden, die so vor kleinen Nagern und anderen Räubern geschützt blieben. Mit der Aufwertung der pflanzlichen Nahrung gewannen die Basislager an Bedeutung, da dort bessere Möglichkeiten für deren Zubereitung bestanden. Schließlich brauchte man zum Kochen und Backen allerlei Gerätschaften, die auf einem Jagdweg eher hinderlich waren.

Wo viel mit Früchten und Samen hantiert wird, entsteht Abfall, der, so er in den Boden gelangt, unter Umständen wieder zu keimen beginnt. Aus solchem Abfall konnten neue Pflanzen erwachsen, die wiederum Samen und Früchte trugen. Irgendwann mag jemand auf die Idee gekommen sein, diesen Prozess nicht dem Zufall zu überlassen, sondern gezielt Samen in den gelockerten Boden einzulegen. Vielleicht war der erste Versuch gleich ein voller Erfolg, vielleicht bedurfte es aber auch mehrerer Anläufe, bis ein achtbares Ergebnis erzielt wurde. Die Versuche zeigten jedenfalls, dass Pflanzen eine gewisse Pflege benötigen, will man einen vorzeigbaren Ertrag erzielen. Außerdem war es notwendig, die Saat zu bewachen, damit nicht

Tiere die Früchte der Arbeit raubten oder alles zerstörten. Um die Saat zu bewachen, musste man im Lager bleiben, das auf diese Weise zu einer ständig bewohnten Siedlung wurde. Erste Erfolge beim gezielten Anbau von Pflanzen gab es, wo nährstoffreiche Böden und gute klimatische Bedingungen das Wachstum begünstigten. Das Gebiet des "fruchtbaren Halbmonds" im Nahen Osten bot diese Bedingungen. Man geht davon aus, dass dort vor 12.000 Jahren die ersten Dörfer entstanden. In Asien setzte dieser Prozess früher ein, in Südamerika später.

Nicht alle Sippen und Stämme wurden gleichzeitig sesshaft, manche zogen weiterhin als Wildbeuter durch die Lande. Gut ausgestattete Dörfer mögen bei ihnen oder bei weniger erfolgreichen Nachbarn Begehrlichkeiten geweckt haben. Wollten die Dörfer nicht um die Früchte ihrer Arbeit gebracht werden, mussten sie sich schützen. Während die Beschaffung und Zubereitung der pflanzlichen Nahrung eher Sache der Mütter, der Halbwüchsigen und Schwachen war, wurden für den Schutz der Dörfer die anderen, die kampferfahrenen Männer vor allem, gebraucht. Die wollten und sollten aber auf die Jagd gehen, so dass man sich für den Schutz der Dörfer anderes einfallen ließ. Wälle, Gräben und Zäune wurden errichtet, mit deren Hilfe den vielfältigen Gefahren widerstanden werden sollte. Griff jedoch eine Horde gut bewaffneter Krieger an, dann waren diese Vorkehrungen nicht ausreichend, dann wurden die Männer gebraucht, die dazu allerdings im Dorf bleiben mussten. Wenn sie nicht auf Jagd gehen konnten, wo sollte dann das für die Ernährung so wichtige Fleisch herkommen?

Es gab da eine Geschichte, die schon seit langem an den Lagerfeuern erzählt wurde. Ein junger Mann hatte ein Wolfsbaby gefunden, es mitgenommen und aufgezogen. Dieser Wolf wurde sein ständiger Begleiter, der ihn vor Gefahren warnte, bei der

Jagd half und ihm sogar einmal das Leben rettete, als er von einem Bären angegriffen wurde. Andere meinten, ein Gott hätte den Wolf zum Helfer der Menschen bestimmt. Wie dem auch sei, der Wolf war bereits vor hunderten Jahren zum Helfer und Begleiter der Menschen geworden. Natürlich war es keine Lösung, jedes Mal nach Wolfswelpen zu suchen und diese aufzuziehen. Das war auch nicht nötig, denn die Wölfe, die die Menschen begleiteten, paarten und vermehrten sich. Und da nur Wölfe mit bestimmten Eigenschaften als Begleiter in Frage kamen, prägten sich deren

Merkmale im Laufe der Zeit stärker aus. Die Wölfe wurden zu Hunden, zu Gefährten der Menschen. Durch die Erfahrungen mit den Wölfen war es grundsätzlich vorstellbar, Tiere an den Menschen zu gewöhnen. Vielleicht hatte es auch schon Erlebnisse mit einem gefundenen Frischling oder einem anderen Tierbaby gegeben, das, erst Spielgefährte, später zu einer schmackhaften Mahlzeit geworden war. Für einen derartigen Leckerbissen war kein langer und gefährlicher Jagdausflug von Nöten. Hatte man eine Vielzahl solcher Tiere zur Verfügung, konnten die Männer am heimischen Herd verbleiben, das Dorf beschützen und beim Ackerbau helfen. Die Tiere mussten allerdings bewacht werden, damit sie nicht davonziefen oder zur Beute hungriger Raubtiere wurden. Deshalb wurden sie mit in die Behausungen genommen oder anderweitig in der Nähe der Menschen untergebracht. Der daraus entstehende enge Kontakt mit den Tieren führte jedoch zu Problemen. Bis dahin unbekannte Krankheiten traten auf und verbreiteten sich schnell.

Tiere wurden anfangs vor allem als Fleischlieferanten gehalten. Natürlich fanden auch andere tierische Produkte wie Eier und Milch oder Häute, Federn und vieles mehr Verwendung. Irgendwann erkannte man, dass sich einige der Tiere auch für

andere Zwecke wie der Arbeit auf dem Feld einsetzen ließen. Wollte man sie als Arbeitstiere nutzen, durften sie jedoch nicht geschlachtet werden. Darüber hinaus mussten von allen Tieren einige für die Nachzucht bleiben. Da die Zahl der Tiere, die in den Dörfern genährt und beschützt werden konnten, begrenzt war, stand nur ein vergleichsweise geringer Überschuss für die Ernährung zur Verfügung. Die Hauptnahrung bestand aus Pflanzenkost, die auf Dauer zu partiellem Mangel und zu einer in der Tendenz schwächer werdenden Konstitution der Menschen führte. Zu den positiven Effekten des Sesshaftwerdens zählt, dass mit der Entstehung der Dörfer bessere Bedingungen für die Herstellung von Werkzeugen und anderen Gerätschaften entstanden. Viele dieser Dinge machten das Leben angenehmer oder wenigstens etwas leichter. Da man sie nicht mehr mit sich herumschleppen musste, konnte der Haushalt größer werden. Ein gut ausgestatteter Haushalt war bald Zeichen von Wohlstand. Natürlich hätte jeder versuchen können, die benötigten Werkzeuge und Gerätschaften selbst herzustellen, das Ergebnis wäre aber wahrscheinlich wenig befriedigend gewesen. Außerdem gab es einige, die besondere Fähigkeiten und Erfahrungen auf diesem oder jenem Gebiet besaßen. Die von ihnen gefertigten Dinge waren handlicher, zweckmäßiger, vielleicht auch schöner, jedenfalls besser als die der anderen. Sie wurden von allen begehrt. Die talentierten Handwerker waren bald ausschließlich damit beschäftigt, den entstehenden Wünschen der anderen nachzukommen.

Doch, auch Handwerker und deren Familien brauchen Nahrung, das heißt, sie mussten für die Produkte ihrer Arbeit eine Gegenleistung in Form von Nahrungsmitteln erhalten. Nur, wie war diese Gegenleistung zu bemessen? Aus der Sicht des Handwerkers sollte für die Erzeugung der Gegenleistung

mindestens der gleiche Aufwand an Arbeit notwendig gewesen sein, den er für die Herstellung seines Produkts aufgebracht hatte. Der Erwerber hatte seinerseits zu entscheiden, inwieweit der Nutzen des Produkts seinen Aufwand für die Erzeugung der geforderten Gegenleistung rechtfertigte. Hatte man schließlich die unterschiedlichen Interessen auf einen Nenner gebracht und die Produkte getauscht, dann hatten beide einen Teil ihrer Arbeit veräußert und sich gleichzeitig fremde Arbeit zu eigen gemacht. Das Produkt, in dem die fremde Arbeit geronnen war, wurde Eigentum des Erwerbers, über das nur er verfügen durfte. Da prinzipiell jedes Produkt dazu taugte, in Produkte fremder Arbeit getauscht zu werden, waren auch die eigenen Produkte als Eigentum anzusehen, von dem andere ausgeschlossen blieben. Die Entstehung von privatem Eigentum war also eng mit dem Sesshaftwerden der Menschen verbunden. Zu Privateigentum wurden persönliche Dinge, aber auch Werkzeuge, Geräte, Tiere und Ackerland. Daneben gab es auch weiterhin Dinge, vor allem Kultgegenstände und Weideland, die von allen genutzt wurden. Im Unterschied zum entstehenden Privateigentum blieben sie in der Verfügungsgewalt der Gemeinschaft, die die Regeln für ihre Verwendung festlegte.

Die Dörfer pflegten untereinander Kontakte. Dabei wurden nicht nur Neuigkeiten und Erfahrungen, sondern auch Erzeugnisse ausgetauscht. Nützliches fand auf diese Weise Verbreitung über Sippen- und Stammesgrenzen hinweg. Im Laufe der Jahrhunderte wurde dieser Austausch immer umfänglicher. Grundlage waren Ertragssteigerungen im Ackerbau, die die Population der Menschen wachsen ließ. Die Siedlungen wurden größer und mit ihnen wuchs auch der Bedarf an Produkten handwerklicher Arbeit. Die daraus resultierende Nachfrage beförderte deren Entwicklung und sie trug zur Belebung des Handels bei. Händler

legten mit Trägern oder mit Booten immer weitere Entfernungen zurück, um ihre Waren feilzubieten und Produkte ferner Länder herbeizuschaffen. Sie brachten auch Ideen und neue Werkstoffe wie das Kupfer mit. Letzteres war bald überall begehrt. Schritt für Schritt verbreiterte sich der Strom der Güter. Nun wurden auch Lasttiere wie Kamele, Esel und Pferde eingesetzt, um die wachsenden Warenmengen zu bewegen. Dann hatte jemand die Idee, runde Scheiben als Räder unter einer Kiste zu befestigen, so dass ein Karren entstand. Mit so einem Karren ließen sich Lasten leichter transportieren, was wiederum dem Handel zugutekam.

Immer wieder veränderten Ideen und Erfindungen das Leben der Menschen. Eine dieser Entdeckungen, die Bronze, die vor 5.000 Jahren eine geradezu rasante Verbreitung fand, gab dem ganzen Zeitalter ihren Namen. Aus Bronze ließen sich neue und vor allem bessere Werkzeuge und Waffen herstellen, mit denen es zum Beispiel möglich wurde, mächtigere Bäume zu fällen, um daraus Schiffe zu bauen, die auch den Gefahren der Meere gewachsen waren. Viele bis dahin ungekannte Gewerke und Berufe entstanden. Der daraus resultierende wirtschaftliche Aufschwung ging mit einer weiteren Belebung des Fernhandels einher, aus dem jene Siedlungen, die an Handelswegen gelegen waren, den größten Nutzen zogen. Einige von ihnen wuchsen zu wohlhabenden Städten heran. Da die Bronze ein von allen beehrter Werkstoff war, wurde sie beinahe überall als Gegenleistung für andere Produkte akzeptiert, denn man konnte sie jederzeit gegen andere gerade benötigte Güter tauschen. Auch Kupfer, Bernstein und einige andere Waren genossen in ihrer Zeit eine ähnliche Wertschätzung, so dass sie zu Zahlungsmitteln wurden.

Die größer werdenden Gemeinwesen stellten höhere Anforderungen an die Organisation des Zusammenlebens. In viel

umfänglicherem Maße als vorher waren Normen erforderlich, die die komplexer gewordenen Beziehungen innerhalb der Gemeinschaft regelten. Es reichte jedoch nicht, solche Normen zu verkünden, sie mussten auch durchgesetzt werden. Damit entstanden in den Gemeinschaften neue Aufgaben, für deren Realisierung Menschen gebraucht wurden, die über die dafür erforderlichen Kenntnisse verfügten. Verwaltungen bildeten sich heraus, die ihrerseits angeleitet und beaufsichtigt werden mussten. Diese Aufgabe wurde häufig einem Rat aus angesehenen Mitgliedern der Gemeinschaft übertragen. Zur Verantwortung eines solchen Rats gehörten auch die Anpassung der Regeln an veränderte Bedingungen, die Schlichtung von Streitigkeiten sowie insgesamt die Weiterentwicklung des Gemeinwesens. Die damit einhergehenden Befugnisse eröffneten den Mitgliedern des Rats Möglichkeiten, aus ihrer Stellung persönlichen Vorteil zu ziehen. Sie waren deshalb nicht selten bestrebt, ihre Kompetenzen zu erweitern. Dies trug dazu bei, dass sich Macht und Reichtum in den Händen weniger konzentrierten. Die Balance zwischen Gleichberechtigung und Solidarität auf der einen Seite und Führerschaft auf der anderen, die die Gemeinschaften der Jäger und Sammler geprägt hatte, ging verloren. An ihre Stelle trat ein System abgestufter Rechte und Pflichten, das mehr und mehr von sozialen Unterschieden und der Distanz der gesellschaftlichen Gruppen zueinander geprägt war. Im Kontext dieser Entwicklung wandelten sich die Gemeinwesen zu Staaten.

Zu den Aufgaben eines Staates gehört der Schutz vor äußeren Feinden. Gerade der wachsende Wohlstand mancher Stadtstaaten rief Neider auf den Plan, die auch Gewalt nicht scheuten, um an diesen Reichtum zu gelangen. Wollte man sich vor Überfällen schützen, genügte es nicht, Mauern zu bauen und

Waffen zu beschaffen, man musste die Handhabung der Waffen auch unablässig trainieren. Das ging nicht nebenbei, neben den täglichen Verrichtungen als Bauer, Handwerker oder Händler. Krieger zu sein, wurde zu einem eigenständigen Beruf. Gut ausgebildete Soldaten brauchte man aber nicht nur für den eigenen Schutz, auch die Handelswege waren mit bewaffneten Stützpunkten zu sichern, gerade weil sich der Reichtum zu großen Teilen aus dem Fernhandel speiste. Außerdem musste für einen permanenten Zufluss an Rohstoffen und Nahrungsmitteln gesorgt werden. Gut ausgerüstete und trainierte Armeen ließen sich darüber hinaus für eigene Eroberungen einsetzen. Eine besonders begehrte Kriegsbeute jener Zeit waren Menschen anderer Völker. Sie wurden gebraucht, um Bauten zum Ruhm der Herrschenden oder auch nur für deren Wohleben zu errichten. Außerdem brauchten die Herren Diener, die die immer aufwendiger werdenden Haushalte am Laufen hielten und sie benötigten Arbeiter, die auf ihren Feldern oder in den Bergwerken schufteten. Die eigene Bevölkerung wäre kaum in der Lage gewesen, all diese zusätzlichen Aufgaben zu bewältigen, hatte sie doch die wirtschaftlichen Grundlagen der Gemeinschaft, die Erzeugung beziehungsweise Beschaffung von Nahrungsmitteln, von Waffen, Werkzeugen und Gerätschaften, von Kleidung, Schmuck und was sonst noch benötigt wurde, zu sichern. Nur mit Hilfe von Sklaven konnte wahrer Luxus entstehen.

Das in der Gesellschaft gesammelte Wissen wurde vor allem mündlich weitergegeben. Mit der Zeit wuchs dieses Wissen jedoch in einem Maß, dass es durch mündliche Weitergabe kaum mehr erhalten werden konnte. Ähnliches galt für die vielen Normen und Regeln, deren Befolgung von den Verwaltungen überwacht werden sollte. Hinzu kam, dass mit den

wirtschaftlichen Verflechtungen das Bedürfnis wuchs, die gegenseitigen Verpflichtungen nachweisbar festzuhalten, um Streit zu vermeiden. Man musste also etwas finden, womit sich Verpflichtungen, Regeln und Wissen dauerhaft dokumentieren ließen. Symbole, die Mengenangaben und Wörter bezeichneten, wurden ersonnen. Man brachte sie auf Steinen, auf Holzbrettern, Ton- und Wachstafeln, auf Papyrus oder anderem Material auf und konnte so jederzeit auf die mit ihnen festgehaltenen Inhalte zugreifen. Ein weiterer Vorteil dieser Neuerung bestand darin, dass die Sicherung und Verbreitung von Fakten und Erkenntnissen nun nicht mehr an einzelne Personen gebunden war. Sie konnten mit den Schriftzeichen einem größeren Kreis von Menschen zugänglich gemacht werden. Auf diese Weise wurde es möglich, größere Gemeinwesen effektiv zu organisieren.

Der Zusammenhalt der Gemeinschaften war ursprünglich durch die gemeinsame Sprache, durch überkommene Traditionen, Regeln und Rituale, aber auch durch einen gemeinsamen Glauben begründet worden. Dem Glauben kam sogar eine wachsende Bedeutung zu, nicht zuletzt, weil die sozialen Strukturen dem einzelnen zunehmend mysteriös erschienen. Wieso gab es einige, die nicht tagein tagaus schufteten und doch in Luxus lebten und andere, die trotz größter Anstrengungen kaum genug hatten, um ihre Kinder zu ernähren? Irgendjemand musste das doch festgelegt haben. Die entstehenden Religionen lieferten die erforderlichen Erklärungen, wobei sie die Verhältnisse, die das soziale Gefälle in der Gesellschaft bewirkten, meist als von den Göttern gegeben, proklamierten. Die aus ihnen resultierenden Privilegien hatten deshalb als unantastbar zu gelten. Einige Religionen wurden auf diese Weise zu staatstragenden Institutionen, deren Vertretern Respekt zu zollen war. Teile der Priesterschaft waren häufig auch direkt an der Verwaltung der

Gemeinwesen beteiligt. Außerdem oblag es ihnen, das vorhandene Wissen über die Natur, die Gesellschaft und die Menschen zu bewahren und darüber zu wachen, dass die herrschenden Lehren die einzig gültigen blieben. Einige der aus dieser Entwicklung hervorgegangenen Staaten wurden zu Hochkulturen, die sich mitunter, wie das Reich der Pharaonen, über sehr lange Zeiträume behaupteten.

Nach der Bronze war es das Eisen, das ab 800 v.Chr. zu bedeutenden gesellschaftlichen Veränderungen beitrug. Der entscheidende Vorteil des Eisens gegenüber dem eher seltenen Kupfer und dem ebenfalls seltenen für die Bronze benötigten Zinn bestand darin, dass es fast überall gefunden wurde. Es war dadurch kostengünstiger und konnte so einen breiten Einsatz im täglichen Leben finden. In veredelter Form zeigte es darüber hinaus Eigenschaften, die denen der Bronze überlegen waren. Aus Stahl ließen sich deutlich bessere Waffen herstellen, die die Kampfkraft der Krieger erhöhten. Da man außerdem gelernt hatte, Pferde so zu trainieren, dass sie einen Reiter trugen, diesem gehorchten und ihn selbst ins Schlachtgetümmel folgten, wurden ganz neue Varianten der Kriegsführung möglich. Die Reichweite der Raubzüge erreichte ungeahnte Dimensionen. Den aus solchen Eroberungen hervorgegangenen Reichen war jedoch meist kein langes Dasein beschieden, denn es erwies sich als beinahe unmöglich, riesige Territorien dauerhaft zu beherrschen respektive zu verwalten. Als Ausnahmen können das chinesische und das römische Reich gelten, die, basierend auf einer starken Zentralmacht, einer schlagkräftigen Verwaltung und einer ausgeklügelten Infrastruktur lange Zeit überdauerten. Trotz mancher Brüche und Rückschläge beeinflussten beide den Lauf der Geschichte bis in die Neuzeit hinein.

Rom war als kleines städtisches Gemeinwesen in die Geschichte gestartet. Schritt für Schritt vergrößerte es seine Einflussphäre. In diesem Prozess wurden die ursprünglichen egalitären Elemente zugunsten hierarchischer Strukturen zurückgedrängt. Gleichzeitig entwickelte sich eine effiziente Verwaltung, die nicht nur die Metropole, sondern auch die eroberten Gebiete umfasste. Das schnell wachsende Rom brauchte Wasser und Nahrungsmittel wie auch viele andere Dinge, die aus der Umgebung oder aus den unterworfenen Gebieten herangeschafft werden mussten. Zu diesem Zweck wurde eine fortgeschrittene Infrastruktur aus Straßen, Wasserleitungen, Schifffahrtswegen und Kurierdiensten geschaffen. Das Ganze ruhte auf den Schultern einer bestens ausgebildeten und bewaffneten Berufsarmee. Die Legionäre schützten aber nicht nur die Grenzen, sie wurden auch zum Ausbau der Infrastruktur eingesetzt. Darüber hinaus hatte die Armee den ständigen Zufluss an Menschen, an Sklaven zu sichern, die für die Errichtung von Bauten oder als Bedienstete der Mächtigen gebraucht wurden. Sklaven wurden auch in grausame Wettkämpfe gehetzt, mit denen das römische Volk bei Laune gehalten werden sollte. Natürlich waren andere Völker nicht ohne weiteres bereit, ihre Ressourcen dem Moloch Rom in den Rachen zu werfen, so dass die Streitkräfte auch im Inneren des Reichs immer wieder für Ordnung sorgen mussten.

Das Römische Reich wurde nicht nur durch innere Konflikte verunsichert, auch von außen drohte zunehmend Gefahr. In ihrem Streben nach Verbesserung des eigenen Lebens bedrängten fremde Völker die Grenzen. Die Römer errichteten Zäune, Wälle und Mauern, die sie schützen sollten. Den Herausforderungen konnte das riesige Reich aber nur begegnen, wenn der innere Zusammenhalt stark blieb. Dazu mussten die

verschiedenen Völker, die zum Reichsgebiet gehörten, in die Gesellschaft eingebunden werden. Die erforderliche Integration beschränkte sich jedoch meist auf die Eliten, denen Aufstiegschancen in Armee und Verwaltung eröffnet wurden. Das konnte nicht verhindern, dass das ursprünglich einigende Band aus gemeinsamer Sprache, Religion und Kultur an Kraft verlor. Irgendwann hielt das im Inneren erodierende Rom dem fortgesetzten Ansturm fremder Völker nicht mehr stand. Es wurde überrannt. Der Untergang des Römischen Reichs geriet zur Zäsur, die eine Epoche kultureller und wirtschaftlicher Entwicklung beendete und Westeuropa zu einem Neustart in die Geschichte zwang.

Aufbruch in eine neue Zeit

Das Römische Reich, genauer das weströmische Reich, ist 476 unter dem Ansturm germanischer Stämme untergegangen. Kaiser Konstantin hatte schon 325 das strategisch günstiger gelegenen Byzanz ausbauen lassen und es als Konstantinopel zu seiner Hauptstadt gemacht. Außerdem forcierte er Reformen und er förderte das Christentum, das in der Folgezeit zur Staatsreligion aufstieg. Das daraus hervorgegangene oströmische Reich konnte sich dank der starken Zentralmacht, die sich auf eine straffe Verwaltung stützte, und dank seiner strategisch günstigen Lage, die eine Kontrolle des Fernhandels ermöglichte, lange Zeit behaupten. Byzanz reklamierte nicht nur die Kontinuität des Römischen Reiches für sich, es wurde auch zum Bewahrer des wissenschaftlichen und kulturellen Erbes der griechisch-römischen Geschichte. Ohne diesen Hort an Kontinuität wäre der spätere Aufbruch Westeuropas in die vorderen Ränge des Weltentheaters kaum möglich gewesen, denn dort war vieles von diesem Erbe in Vergessenheit geraten. Trotzdem musste auch in Westeuropa das Rad nicht neu erfunden werden. Will heißen,

dass man auch dort auf Errungenschaften vergangener Jahrhunderte aufbaute. Außerdem brachten Händler und Abenteurer immer wieder Ideen, Werkstoffe und Erzeugnisse aus fernen Ländern mit, die zur Quelle von Fortschritt wurden.

Im 11. Jahrhundert kam es mit der Dreifelderwirtschaft und dem Einsatz von Eisenpflügen zu folgenreichen Veränderungen im Ackerbau. Darüber hinaus wurde ein neuartiges Geschirr benutzt, das es ermöglichte, Pferde, statt der bis dahin üblichen Ochsen, für die Feldarbeit einzusetzen. Mit Hilfe dieser Neuerungen konnten höhere Erträge erzielt werden, die ein Wachstum der Bevölkerung ermöglichten. Die erreichten Ertragssteigerungen führten jedoch nicht zu einer generellen Verbesserung der Lage der Bauern, denn diese waren in eine starke Abhängigkeit von ihren Grundherren geraten. Diese Abhängigkeit äußerte sich unter anderem darin, dass sie Fronarbeit auf den Äckern und Anwesen der Herren leisteten oder diesen einen großen Teil ihrer Ernte abtreten mussten.

Die eisernen Flugscharen waren Resultat von Fortschritten in der Eisenverhüttung, durch die auch die Herstellung vieler neuer oder verbesserter Gebrauchsgegenstände möglich wurde. Der verstärkte Einsatz des Eisens führte zu einem sprunghaft steigenden Bedarf an Eisenerz. Auch Kupfer und Silber, die unter anderem als Zahlungsmittel Verwendung fanden, waren in wachsendem Maß gefragt. Der Bergbau florierte. Der mit ihm verbundene wirtschaftliche Aufschwung kam vor allem den Städten zugute, wo neue Gewerke entstanden, die ihrerseits zur Belebung des Fernhandels beitrugen. Die Händler brachten aus fernen Ländern Produkte mit, die sich bei denen, die sich diese leisten konnten, zunehmender Beliebtheit erfreuten - Gewürze aus Indien, Seide, Porzellan und Edelsteine aus China sowie wertvolle Stoffe aus Arabien. Mit dem Fernhandel kamen aber

nicht nur Luxusgüter, auch Ideen und Erfindungen fanden ihren Weg nach Europa. Insbesondere dem Austausch mit China verdankte man manche Inspiration, wie das Nutzen der Pferde als Zugtiere oder die Verwendung eines Kompasses zur Navigation auf See. Der Landweg nach China und Indien war jedoch nicht nur lang, sondern auch gefährlich. Als Alternative bot sich die Passage durch das Mittelmeer an, bei der man allerdings auf die Dienste von Byzanz angewiesen war.

Neben Byzanz waren auch einige italienische Städte wie Pisa, Genua und Venedig Nutznießer des Seehandels. Kaufleute dieser Städte gelangten zu großem Wohlstand und politischem Einfluss. Für sie war es wichtig, in Konstantinopel vertreten zu sein, so dass sich immer mehr italienische Kaufleute und Bankiers dort niederließen. Konflikte mit der einheimischen Bevölkerung waren die fast unvermeidbare Folge. Die große Katastrophe brach jedoch mit den Kreuzfahrern herein, die auf ihrem Weg in das gelobte Land, Konstantinopel im Jahr 1204 eroberten und plünderten. Von den wirtschaftlichen und politischen Folgen dieser Heimsuchung sollte sich Byzanz nie wieder ganz erholen. Die zunehmend unsicher werdende Lage im oströmischen Reich veranlasste Gelehrte und Künstler, das Land zu verlassen und in den italienischen Handelsstädten ihr Glück zu suchen. Sie brachten nicht nur ihr eigenes Wissen, sondern auch Texte aus der Antike sowie Erkenntnisse arabischer und indischer Gelehrter mit.

Die Schiffe, die die Waren aus fernen Ländern brachten, hatten eines Tages auch eine andere, todbringende Fracht an Bord: die Pest. Der schwarze Tod, die schlimmste Katastrophe seit Menschengedenken, raffte bereits in einer ersten großen Welle von 1347 bis 1351 rund ein Drittel der europäischen Bevölkerung dahin. Die Pest verschonte auch die Herren, weltliche wie

geistliche, nicht. Sie waren eben nur Sterbliche. Doch, wenn diese Herrschaften nicht unantastbar waren, warum sollten es dann die sie begünstigenden Gesetze und Regeln sein, zumal sich diese in Zeiten der Not nicht bewährten? Veränderungen schienen nicht nur dringend, sondern auch möglich zu sein. Vor diesem Hintergrund lösten sich die Künste und die Wissenschaften einen Schritt weit von der bis dahin alles beherrschenden Kirche. So besannen sich die Mediziner darauf, nicht nur über altes Wissen zu dozieren, sondern die Natur der Menschen zu erforschen, um ihnen besser helfen zu können. Nicht ein Leben nach dem Tode, sondern das diesseitige Leben sollte im Mittelpunkt des Denkens stehen.

Die schweren Jahre zeigten, dass eine gute Verwaltung in der Lage ist, Krisenzeiten zu managen, selbst dann, wenn der zuständige Herrscher versäumt, das Seinige zu tun. Es galt also, die Verwaltungen zu stärken. Die Pest brachte viel persönliches Leid, sie verschärfte aber auch die sozialen Konflikte. Obwohl ganze Landstriche verwaist und Familien und Dörfer stark dezimiert waren, wollten viele der Herren keine Abstriche am eigenen Lebensstil zulassen. Die verbliebenen Bauern sollten all die Lasten tragen, die vorher auf breitere Schultern verteilt gewesen waren. Mancherorts wurde die Drangsal so unerträglich, dass Bauern keinen anderen Ausweg sahen, als sich ihr durch Flucht in eine Stadt zu entziehen. Das war natürlich nicht im Sinne der Herren, schmälerte doch jede Flucht eines Bauern ihr Einkommen. Sie scheuten keine Gewalt, um die angespannte Lage in den Griff zu bekommen. Wo dies nicht gelang, riefen sie die Staatsmacht zur Hilfe, die nun ihrerseits die Landflucht verbot. Die Bauern wurden damit vollends zu Sklaven ihrer Scholle respektive ihres Grundherrn. Einigen der Herren brachte die Pest nicht nur Ärger, sondern auch Gewinn; konnten sie doch verwaiste Ländereien

unter ihre Kontrolle bringen und so ihren Besitz und ihre Macht vergrößern.

Die Pest hatte England besonders schwer getroffen. Dort war ihr fast die Hälfte der Einwohner zum Opfer gefallen. Die Grundherren gingen dazu über, die Schafzucht zu forcieren, nicht zuletzt, weil man für die Weidewirtschaft nur wenige Bedienstete braucht. Der Staat förderte den Ankauf und die Verarbeitung der Wolle. Außerdem ließ er Straßen, Wasserwege und Häfen ausbauen, damit das hergestellte Tuch schnell und kostengünstig exportiert werden konnte. Die aus dem Handel sprudelnden Zölle sollten bald zu seiner wichtigsten Einnahmequelle werden. Die guten Geschäfte führten allerdings dazu, dass die Landlords begannen, die noch verbliebene Landbevölkerung zu vertreiben und sich die Allmenden anzueignen, um mehr Platz für die Weidewirtschaft zu erhalten. Insgesamt gesehen schufen die Reformen jedoch die Voraussetzungen für den späteren wirtschaftlichen Aufstieg Englands.

Andere Länder gingen andere Wege, aber egal, welche konkreten Maßnahmen ergriffen wurden, die Regierungen mussten sich fortan immer wieder in die Regelung der sozialen Fragen einbringen. Für diese Aufgabe wurden die örtlichen Herrscher mit ihren Verwaltungen gebraucht, denn diese kannten die Gegebenheiten am besten. Viele dieser Herren nutzten die Gelegenheit, um ihre eigene Stellung im Machtgefüge auszubauen. Aber nicht nur die regionalen Herrscher pochten zunehmend auf Souveränität, auch Städte, die durch Handel und Gewerbe zu Reichtum und Wohlstand gelangt waren, forderten mehr Eigenständigkeit. Unter diesen Bedingungen hatte es eine Zentralregierung schwer, ihren Machtanspruch durchzusetzen. Die aus dieser Gemengelage entstehenden Konflikte führten nicht selten zu kriegerischen Auseinandersetzungen, in denen

Reichtum und Macht schnell gewonnen aber auch wieder verloren werden konnten.

In diesen unruhigen Zeiten etablierten sich die italienischen Handelsstädte, allen voran Florenz, als Wiege des Fortschritts. Kaufleute und Bankiers hatten dort große Reichtümer angesammelt, wobei ihnen Neuerungen, wie die doppelte Buchführung und die Einführung des Handelswechsels, zugutekamen. Sie verwendeten einen Teil ihres Vermögens darauf, imposante Bauwerke zu errichten, Künstler zu beschäftigen und die Wissenschaften zu fördern. Verbunden mit der Wiederbelebung antiken Wissens entstand ein Strom von Innovationen, der der gesellschaftlichen Entwicklung Schwung verlieh. Die Baukunst hatte beispielsweise bisher einzig auf den Erfahrungen der Baumeister basiert, die neuartige Aufgaben nur nach der Methode von Versuch und Irrtum angehen konnten. Mit den neuen Erkenntnissen war man in der Lage, statische Berechnungen vorzunehmen, die das Bauen planbar machten. Da auch die alte Kunst des Kuppelbaus wiederbelebt worden war, konnten beeindruckende Bauwerke entstehen. Die Maler wendeten sich der Zentralperspektive zu, um in ihren Bildern einen räumlichen Eindruck zu erzeugen und sie rückten immer öfter den Menschen mit seiner Körperlichkeit in den Mittelpunkt ihres Schaffens. Das Leben wurde nach der geistigen Bevormundung im Mittelalter und der körperlichen Bedrohung durch die Pest in neuer Weise gefeiert. Es erlebte eine Renaissance.

Verlierer des durch die Pest beförderten Umbruchs war die katholische Kirche. Sie hatte in der Zeit davor das geistige Leben Europas beinahe vollständig beherrscht. Diese Herrschaft wurde nun immer öfter als Bedrückung empfunden. Hinzu kam, dass die Kirchenfürsten, meist Söhne weltlicher Herren, es ihren Brüdern

gleichgültigen und ihr Streben mehr auf die Erweiterung der eigenen Machtfülle und die Entfaltung von großem Luxus als auf das Seelenheil der ihnen Anvertrauten richteten. Gleichzeitig hatten sich viele von ihnen in der Stunde der Bewährung, als der Schwarze Tod unablässig die Sense schwang, als nichtsnutzig erwiesen. Jedenfalls wurde das von vielen Menschen so gesehen. Einige von ihnen fanden sich zu Laiengruppen zusammen, die, unabhängig von der Kirche, nach neuen Wegen zu Gott suchten. Später begründeten Theologen, wie John Wyclif und Jan Hus, dass es für die christliche Kirche unabdingbar geworden sei, zu ihren spirituellen Wurzeln zurückzufinden. Und schließlich war es die Reformation, die den Einfluss der Papstkirche auch faktisch beschränkte.

In gewissem Sinn sind sowohl die Renaissance als auch die Reformation Teil des durch die Pest beschleunigten gesellschaftlichen Umbruchs jener Zeit. Sie haben in ihren Ursachen, aber auch in ihren langfristigen Wirkungen, manches gemeinsam. Trotzdem stehen sie sich in ihren Konsequenzen unversöhnlich gegenüber. Dieser Gegensatz wird im Wirken der Renaissance-Päpste in besonderem Maß deutlich. Diese Herren waren tatkräftige, dem Diesseits verschriebene Machtmenschen und gleichzeitig Förderer von Architektur, Kunst und Technik, zumindest solange sie ihren Interessen dienten. Gleichzeitig waren sie Herrscher, die ihren Machtanspruch als Territorialfürsten wie auch als Kirchenoberhaupt rigoros durchsetzten. Die Reformation war im Unterschied dazu von egalitären Gedanken getrieben. In den Überlegungen der Reformatoren hatten Prachtentfaltung und Machtzuwachs keinen Platz. Die Päpste erschienen ihnen daher als Inkarnation des Bösen. Der daraus erwachsende Dissens erwies sich als

unüberbrückbar. Er führte letztlich zur Spaltung der Kirche und zu einer nicht enden wollenden Reihe aus Verfolgung und Krieg.

Der Reformationsgedanke hätte wahrscheinlich nie eine so große Strahlkraft erreicht, wenn nicht die Erfindung des Buchdrucks mit beweglichen Lettern seine umfassende Verbreitung ermöglicht hätte. Mit dem Buchdruck konnte das jahrhundertealte Monopol der Kirche auf die Bewahrung, Verbreitung oder Unterdrückung von Wissen gebrochen werden. Ideen, genauso wie Forschungsergebnisse, wurden nun schnell, unter Umgehung jeglicher Zensur, verbreitet. Jeder, der des Lesens mächtig war, konnte an den geistigen Auseinandersetzungen der Zeit teilhaben. Als ideales Mittel, um neue Ideen unter die Massen zu bringen, erwiesen sich Flugblätter, ohne die auch die Überzeugungen Martin Luthers kaum eine derart rasante Verbreitung gefunden hätten. Die neuen Möglichkeiten der Publikation von Gedanken und Meinungen förderten auch die schnelle Verbreitung wissenschaftlicher Erkenntnisse, was zur umfassenden Revidierung des von kirchlichen Dogmen getragenen Weltbilds beitrug.

Nicht nur in Europa waren die Verhältnisse in Bewegung geraten. Auf der arabischen Seite des Mittelmeers war das Osmanische Reich entstanden, dessen Größe und Macht schnell wuchsen. 1453 gelang den Osmanen mit der Eroberung Konstantinopels der Sprung nach Europa. Sie besetzten den Balkan und sorgten jahrhundertlang für Unruhe an europäischen Höfen. Die Osmanen brachten aber nicht nur Krieg und Unterdrückung mit, auch kulturelle Neuerungen, die das Leben bereicherten, fanden in Europa Verbreitung. Mit der osmanischen Eroberung der arabischen Welt und durch die Einnahme Konstantinopels waren jedoch die Handelswege nach China und Indien blockiert. Wo sollten nun die Luxusgüter herkommen, an die sich die

Wohlhabenden gewöhnt hatten? Vielleicht ließ sich ein direkter Seeweg in die fernen Weltengegenden finden. Zwei Routen waren denkbar, zum einen die Umsegelung Afrikas, zum anderen der Weg nach Westen, um Indien über die Rückseite der Erdkugel zu erreichen.

Die Erkundungen dieser Routen waren gewagte Unterfangen, die viele Gefahren bargen. Es hatte allerdings auch Entwicklungen gegeben, die diese Abenteuer aussichtsreich erscheinen ließen. Ein wendigerer und besser steuerbarer Schiffstyp war entwickelt worden, der zur Verfügung stehende Kompass war deutlich genauer und mit Hilfe des Jakobsstabs und astronomischer Tabellen konnte die Position eines Schiffes präzise berechnet werden. Bald waren auch tragbare mechanische Uhren verfügbar, die die Navigation auf See vereinfachten. Außerdem hatten die Schiffe mächtige Feuerwaffen an Bord, die den Seefahrern ein Gefühl von Überlegenheit mit auf den Weg gaben. Die Zukunft war mit der Seefahrt verbunden, das hatten vor allem die Herrscher von Portugal und Spanien verstanden. Sie waren bereit, tollkühne Männer für derartige Abenteuer auszurüsten. Das damit verbundene Risiko wurde belohnt, denn Vasco da Gama fand einen Seeweg nach Indien um Afrika herum und Christoph Kolumbus gelang die Querung des Ozeans gen Westen. Später sollte sich herausstellen, dass er nicht in Indien gelandet war, sondern dass er einen bis dahin in den Karten nicht verzeichneten Kontinent gefunden hatte.

Die Entdecker der Neuen Welt nahmen das Land für ihre Herrscher in Besitz. Dass dort andere Völker lebten, war für sie nicht von Belang. Durch Mord, Versklavung und eingeschleppte Krankheiten sollten diese ohnehin bald kein Problem mehr sein. Im Windschatten der Eroberer trugen Missionare den christlichen Glauben in die Welt, so dass sich der Einfluss der katholischen

Kirche, trotz der Rückschläge in Europa, ausweitete und der Grundstein für eine Weltkirche gelegt wurde. Allerdings waren auch viele der Missionare kaum mit Skrupeln belastet, wenn es galt, ihrer Sendung Erfolg zu verschaffen. Und dann fanden die Eroberer auch noch Goldschätze und Silberminen, so dass die große Entdeckung vollends zu einem großen Raubzug wurde. Gold und Silber flossen tonnenweise nach Europa. Insbesondere das Gold war ein gern gesehenes Zahlungsmittel, das als Inkarnation von Reichtum verstanden wurde. In Europa war es bis dahin ein eher rares und teures Gut gewesen. Sein massenhafter Zufluss bewirkte einen Aufschwung in Handel und Gewerbe, auch, weil es nicht in den Schatzkammern der Herrscher verstauben, sondern sich in Macht und Luxus, das heißt in einen Strom von Gütern, verwandeln sollte. Die Aufwendungen für den Raub des Goldes waren zudem geringer als der zu jener Zeit verlangte Preis. Doch dabei blieb es nicht.

Da immer mehr Gold nach Europa strömte, wurde der Aufwand für dessen Beschaffung bald zur Richtschnur seines Werts. Sein Preis sank, was wiederum bedeutete, dass man weniger Waren für die gleiche Menge Goldes erhielt. Heute würde man einen solchen Vorgang als Inflation bezeichnen. Irgendwann verebbte der Zufluss an Gold und Silber. In der Folgezeit musste man sich auf andere Schätze, die die neue Welt ebenfalls zu bieten hatte, besinnen. Bodenschätze wurden erkundet und ausgebeutet und eine auf die Bedürfnisse Europas ausgerichtete Landwirtschaft etabliert. Dort, wo Arbeitskräfte fehlten, auch weil die einheimische Bevölkerung nahezu ausgerottet worden war, schaffte man Menschen aus anderen Weltengegenden heran. Menschenhandel, vor allem die Versklavung von Afrikanern, wurde zum einträglichen Geschäft. Doch, nicht nur die Eroberung Amerikas verhalf Europa zu Reichtum, auch der Handel mit den

Ländern des Fernen Ostens erwies sich als zunehmend einträglich. Hier kam den Europäern zugute, dass das chinesische Reich seine Vormacht in dieser Region nach dem Tod von Kaiser Zhu Di im Jahr 1424 verlor, wodurch ihnen fast alle Wege offenstanden.

Überseeische Territorien zu besitzen und Handelswege zu kontrollieren wurden Faktoren, die über Macht und Ansehen europäischer Herrscher entschieden. Kriege um die Vorherrschaft auf den Meeren und um überseeische Territorien, aber auch um die Dominanz in Europa, waren die wiederkehrende Folge. In diesen Auseinandersetzungen konnten sich vor allem jene Staaten behaupten, die eine starke Zentralmacht besaßen. Die Zentralmacht war es auch, die am meisten von den Erfolgen einer expansiven Politik profitierte. Die mit der Eroberung überseeischer Territorien verbundene Entwicklung von Handel und Gewerbe rückte gleichzeitig die Profitmacherei mehr und mehr in den Mittelpunkt des gesellschaftlichen Lebens. Auf dem Lande spiegelte sich diese Entwicklung darin wider, dass die persönliche Abhängigkeit der Bauern von ihren Grundherren vielerorts durch Pachtverträge ersetzt wurde. Selbst die Könige und Kaiser wurden mehr und mehr von Einnahmen aus Handel und Gewerbe abhängig. Nur wenn diese Einnahmequelle sprudelte, konnten sie sich großer Prachtentfaltung hingeben. Aber auch Kaufleute, Bankiers und Gewerbetreibende waren zu Reichtum gekommen. Sie verlangten mehr politischen Einfluss, um die Bedingungen für ihre wirtschaftlichen Unternehmungen nach eigenen Vorstellungen gestalten zu können. Dem stand das Beharren des Adels auf angestammte Privilegien entgegen.

Der Widerspruch, der bereits im Verhältnis von Renaissance-Päpsten und Reformatoren aufgeschimmert war, fand im Konflikt zwischen den vererbaren Privilegien des Adels und dem

emanzipatorischen Streben des Bürgertums Fortsetzung und Zuspitzung. Die daraus erwachsenden Spannungen entluden sich in folgeschweren Verwerfungen. Ein solches Beben, die Revolution der Franzosen von 1789, zerstörte nicht nur dort die alte Ordnung, seine Ausläufer waren beinahe überall auf der Welt zu spüren. Die Revolution proklamierte die formale Gleichheit aller vor dem Gesetz. Privilegien, die durch Geburt in eine bevorteilte Klasse begründet wurden, sollte es nicht mehr geben. Jeder würde selbst seines Glückes Schmied sein können. Damit forderte die Revolution den massiven Widerstand der bislang Privilegierten, ja des gesamten europäischen Adels heraus. Doch, sie setzte auch ungeahnte Kräfte frei, durch die das alte Europa ins Wanken geriet.

Aus England, dessen Wirtschaft am weitesten entwickelt war, kamen zu jener Zeit ganz erstaunliche Nachrichten. Dort waren von Wasserkraft getriebene Baumwollspinnereien entstanden, bei denen fast der gesamte Produktionsprozess mechanisch, ohne das Eingreifen von Menschen, ablief. Es sollte sich herausstellen, dass dies erst der Anfang einer wahrhaft revolutionären Entwicklung war. Ein neues Zeitalter, das Zeitalter der Industrialisierung pochte an die Tür der Geschichte. In der Folgezeit gab es auch in der Landwirtschaft Veränderungen, wo man von der Dreifelderwirtschaft zur Fruchtfolge überging. Außerdem wurde vermehrt Dünger eingesetzt, so dass die Erträge stiegen. Die Familien konnten nun mehr Kinder durchbringen. Da nicht alle in der Landwirtschaft ein Auskommen fanden, zog es viele von ihnen in die Städte. Trotz dieser Veränderungen bildete die Landbevölkerung weiterhin die größte soziale Gruppe, was sich erst mit der fortschreitenden Industrialisierung grundlegend veränderte. Mit anderen Worten, vom Sesshaftwerden der Menschen bis zur Industrialisierung

waren die Gesellschaften agrarisch geprägt. Sie können trotz aller Unterschiedlichkeit im Einzelnen als Bauerngesellschaften charakterisiert werden.

Maschinen verändern das Leben

Jahrtausende hatten die Menschen als Jäger und Sammler beziehungsweise als Ackerbauern und Viehzüchter, also von und mit der Natur, gelebt. Und dann, in einem Zeitraum von nicht einmal einhundert Jahren wurde alles anders. Maschinen veränderten den Alltag, der jetzt meist in den Städten stattfand. Dort entfremdeten sich die Menschen ein gutes Stück von ihren natürlichen Lebensgrundlagen. Gleichzeitig beschleunigte sich ihr Lebensrhythmus, denn sowohl in der Produktion als auch beim Transport von Gütern und Personen gaben die Maschinen ein bis dahin ungekanntes Tempo vor. Mit dem Einzug der Technik veränderten sich auch die Beziehungen der Menschen zueinander. Rechte und Pflichten, Reichtum und Macht wurden grundlegend umverteilt. Man vermag sich kaum vorzustellen, wie die Menschen diesen Umbruch erlebten. Ihr tradiertes Weltbild, ihre Vorstellungen vom Leben, ihre Werte und das, was sie als gesichertes Wissen verstanden, alles geriet in der Zeitspanne eines Lebens unter die Räder. Für die einen mag diese Entwicklung gleichbedeutend mit dem Untergang des Abendlands gewesen sein, für die anderen wurde Fortschritt zum verheißungsvollen Mantra. Die meisten hatten allerdings genug damit zu tun, irgendwie zu überleben.

Meine Uroma gehörte zu jener Generation, die diese Veränderungen hautnah erlebte und erlidierte. Sie wurde 1882 in Rixdorf, damals noch bei Berlin, geboren. Als junge Frau lebte sie in einer märkischen Kleinstadt, alleinstehend mit Kind. Sie zog mit einem Handwagen über die Dörfer und verkaufte frisch

gepresstes Leinöl, um so den Lebensunterhalt für sich und ihr Kind zu verdienen. Ihre Wohnung bestand aus einem kleinen Zimmer und einer noch kleineren Küche, in der auf einem mit Holz befeuerten Ofen gekocht werden konnte. Wasser musste sie von der Pumpe auf der Straße holen, während sich das Plumpsklo auf dem Hof befand. Wenn es dunkelte, konnte sie im Kerzenschein noch ein wenig hantieren, aber letztlich bestimmte das Tageslicht ihren Lebensrhythmus. Als sie 1968 starb, war elektrische Beleuchtung in den Wohnungen und auf den Straßen längst selbstverständlich. Jetzt verunsicherten nicht nur dunkle Gestalten, sondern auch Automobile die Straßen. Man hatte die Wohnungen an das städtische Wassernetz angeschlossen, so dass Badezimmer und Klosett Alltag geworden waren. Zum Kochen stand ein Gasherd bereit. Außerdem machten ihr Staubsauger, Waschmaschine und elektrische Küchengeräte das Leben leichter. Zu all diesen Geräten gesellten sich noch Radio, Fernseher und Telefon. Mehrmals am Tag klirrten die Scheiben, weil ein Düsenjet die Schallmauer durchbrach. Und als Krönung des Ganzen waren Menschen in eine Erdumlaufbahn geschossen worden. Das war aber nur die eine Seite. Mit dem Kaiserreich, der Weimarer Republik, dem Faschismus und dem Sozialismus hatte sie vier politische Systeme er- und zwei Weltkriege überlebt. Die Inflation nach dem ersten großen Krieg fraß ihre mühsam gesparten Notgroschen, die folgende Weltwirtschaftskrise verschlimmerte die Lage weiter und die ständig wechselnden Regierungen waren auch nicht dazu angetan, Hoffnung keimen zu lassen. Dann eroberte ein schnauzbärtiger Heilsverkünder die politische Bühne. Er versprach Ordnung, technischen Fortschritt und Arbeit für alle. Was er außerdem im Gepäck hatte, waren Verfolgungen, Massenmord und ein Krieg, der noch grausiger werden sollte, als der vorangegangene. Dem Krieg folgten Hunger, Ströme von Flüchtlingen und die Teilung des Landes.

Die ersten Vorboten der großen Veränderungen waren aus England gekommen. Dort hatte man früh die Weichen in Richtung Förderung von Handwerk und Gewerbe gestellt, was besonders der Textilbranche zugutegekommen war. Feines englisches Tuch war zu einem Exportschlager geworden. Es konnte gar nicht genug Schafswolle produziert werden, um die wachsende Nachfrage nach edlem Tuch zu befriedigen. Baumwolle, die aus den Kolonien ins Land kam, sollte Abhilfe schaffen und neue Käuferkreise erschließen. Doch schon bald zeigte sich, dass die Produktivität der Spinnerinnen, die die Baumwolle zu Garn verarbeiteten, zu gering war, um die schnell wachsende Nachfrage zu bedienen. Sollte es nicht möglich sein, Kräfte der Natur einzusetzen, um die Spinnerinnen zu unterstützen oder gar ganz zu ersetzen?

Schließlich hatte man die Kraft des Wassers und des Windes schon früher, wenn auch für andere Zwecke, genutzt. Da der Spinnprozess kontinuierlich ablaufen muss, blieb in diesem Fall allerdings nur die Wasserkraft als erfolgversprechende Option. Sie wurde dann auch in einer ersten Spinnfabrik, die 1770 ihre Produktion aufnahm, als Antriebskraft eingesetzt. Menschen wurden in dieser Fabrik nur noch für Hilfs- und Kontrollaufgaben benötigt. Zwanzig Jahre später gab es bereits 200 derartiger Fabriken mit tausenden Maschinen, deren Produktivität rund dreißigmal höher war als die der Spinnerinnen.

Wasserkraft ist ortsgebunden und nicht überall verfügbar. Ihrem Einsatz als Antriebskraft waren daher enge Grenzen gesetzt. Energie wird aber nicht nur durch Wasser und Wind erzeugt, auch bei Verbrennungsprozessen wird Energie in Form von erhitzten Gasen frei. Verbrennungsprozesse haben zudem den Vorteil, dass sie im Prinzip überall ablaufen können. Sie waren also sowohl stationär, an jedem beliebigen Ort, als auch zum Antrieb von

mobilen Maschinen einsetzbar. James Watt verhalf diesem Prinzip zum Durchbruch. Seine Dampfmaschinen kamen ab 1777 auf den Markt, die ersten Lokomotiven wurden ab 1804 verkauft. Zwischenzeitlich hatten sich in Folge der französischen Revolution sowohl in Europa als auch in Nordamerika weitreichende gesellschaftliche Veränderungen vollzogen. Mit ihnen wurden Kräfte freigesetzt, die dem technischen Fortschritt Schwung verliehen. Es war erneut das Eisen, dessen massenhafte Verarbeitung zu hochwertigem Stahl ab 1855 eine neue Etappe der Entwicklung einläutete. Aus Stahl wurden Maschinen gefertigt, die die Produktion in den Fabriken wie auch den Transport zu Wasser und zu Lande revolutionierten. Industriebetriebe entstanden vor allem in den Städten, denn dorthin zog es die Arbeitskräfte, die in der Landwirtschaft überflüssig geworden waren. Mitunter wuchsen neue Städte auch in der Nähe von Industrieanlagen, die sich bei wichtigen Rohstoffverkommen angesiedelt hatten.

Die Städte wuchsen so rasant, dass Ende des 19. Jahrhunderts die Landbevölkerung erstmals zur Minderheit geworden war. Der Pulsschlag des gesellschaftlichen Lebens hatte sich endgültig in die Städte verlagert. Dort spielte die Musik, aber nicht für alle. Die Menschen waren zu austauschbaren Anhängseln der Maschinen geworden, zu einem Kostenfaktor, der möglichst gering zu halten war. Bei Verschleiß stand eine Armee von Nachrückern bereit. Kinder waren besonders beliebt, da sie sich als Diener der Maschinen behände, fügsam und kostengünstig erwiesen. Das Licht des technischen Fortschritts war von bedrückenden Schatten begleitet. Doch es formierte sich Widerstand. Sozial motivierte Kämpfe entbrannten, erst spontan, dann zunehmend organisiert. Parteien, die den Kampf für die Rechte der Arbeiter

und ihrer Familien auf ihre Fahnen geschrieben hatten, gewannen Zulauf.

Manche Städte wuchsen so schnell, dass ihre Infrastruktur völlig neu konzipiert werden musste. Auf Wohngebiete der ärmeren Bevölkerung wurde dabei kaum Rücksicht genommen, zumal der Wert der innerstädtischen Grundstücke unaufhaltsam stieg. Nicht nur die Preise der Grundstücke, auch die Häuser selbst schossen in die Höhe. Mit Fahrstühlen ausgestattete Wolkenkratzer waren der letzte Schrei. Die Bahn wurde dagegen schon mal in den Untergrund verlegt. Außerdem kam Licht in das Dunkel. Man hatte schon länger mit Elektrizität experimentiert und 1799 eine erste Batterie vorgestellt, nun, hundert Jahre später, war es soweit, dass Häuser und Straßen mit elektrischem Strom illuminiert werden konnten. Erst wenige, dann immer mehr, bis Elektrizität überall das Leben heller werden ließ. Schritt für Schritt erreichten die Errungenschaften der Industrialisierung die Breite der Bevölkerung, viel zu langsam für jene, die darauf warteten, im Rückblick gesehen jedoch in einem geradezu atemberaubenden Tempo.

Die Industrieproduktion war zur treibenden Kraft der Wirtschaft geworden. Unternehmer, lange Zeit als Neureiche belächelt, bildeten nun die neue Oberschicht, die nach immer mehr Einfluss gierte, auch, weil sich ein bis dahin ungekanntes Problem aufgetan hatte. Durch den Einsatz der Maschinen konnte man nämlich die Produktion beinahe beliebig ausdehnen. Dem stand entgegen, dass die Märkte, die die Rohstoffe und Vorprodukte bereitstellen mussten und die die Endprodukte aufnehmen sollten, begrenzt blieben. Wollte man eine den Maschinen gerecht werdende Kontinuität der Produktion erreichen, mussten ganze Fertigungsketten in einer Hand vereint und Konkurrenten ausgeschaltet werden. Nur ein monopolisierter Markt würde

steuerbar sein. Für die Erreichung dieses Ziels schien jedes Mittel recht, jedenfalls war das die Überzeugung einiger Magnaten in den USA, deren Treiben auch dadurch begünstigt wurde, dass Grenzen setzende Regeln fehlten. Erst verheerende Krisen verhalfen zur Einsicht, dass ungezügelter Profitgier nicht unbedingt gesellschaftlichen Wohlstand hervorbringt.

Das Entstehen von Wirtschaftsgiganten war nicht nur den Fortschritten in der Produktion und den Visionen einzelner Unternehmer zu danken, für die Führung großer und territorial verzweigter Unternehmen brauchte man auch neuartige Möglichkeiten der Kommunikation. Sie mussten einen schnellen Austausch von Informationen über weite Entfernungen hinweg gestatten. Der Telegraph und ab 1876 das Telefon eröffneten diese Möglichkeiten. Sie gaben nicht nur der Industrie neue Perspektiven, sie schufen auch Voraussetzungen für die Beherrschung komplexer Infrastruktursysteme. Das Management eines Eisenbahnnetzes wäre ohne technische Signalübertragung nicht denkbar. Die schnelle Übermittlung von Informationen führte aber auch auf ganz anderen Gebieten zu neuen Entwicklungen. Sie machte zum Beispiel eine zentrale Steuerung großer und schnell operierender Armeen möglich. Allerdings wurden nicht nur die Armeeführungen umgehend über aktuelle Veränderungen informiert, auch der Öffentlichkeit konnten nun Nachrichten über die tatsächliche Lage an den Fronten zugänglich gemacht werden. Zeitungen und andere Publikationen etablierten sich als vierte Gewalt im Ringen um politische Weichenstellungen.

Im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts vollzog sich noch eine weitere Veränderung, deren Tragweite erst nach und nach erkennbar wurde. Der Austausch von Waren war bis dahin Produkt gegen Produkt oder mit Hilfe einer Geldware, also einer

Ware, die allgemein als Zahlungsmittel akzeptiert wurde, abgewickelt worden. Als Geldware hatten sich im Laufe der Zeit vor allem Edelmetalle, wie Gold und Silber, etabliert, da sie einen hohen Wert in einem relativ geringen Volumen konzentrierten und als Material sehr beständig waren. Ihr Nachteil bestand darin, dass sie nur begrenzt zur Verfügung standen. Außerdem verursachte ihr Transport einen relativ hohen Aufwand. Diese Probleme waren allerdings nicht neu, sie hatten den Handel seit langem begleitet. Im Laufe der Zeit hatten sich daher Wege zur einfacheren Abwicklung von Geschäften herausgebildet. Man konnte zum Beispiel Forderungen und Verbindlichkeiten gegeneinander verrechnen, ohne dass Gold oder Silber bewegt werden musste. Es war auch möglich, einen Schuldschein gegen das eigene Vermögen oder gegen Guthaben bei Dritten auszustellen und diesen zur Bezahlung einzusetzen. Voraussetzung dafür war, dass sowohl der verrechnenden Stelle als auch dem Schuldner Vertrauen entgegengebracht wurde, denn man verzichtete für den Moment auf die Begleichung einer Forderung, um sie zu einem späteren Zeitpunkt, vielleicht auch an einem anderen Ort, geltend zu machen. Solches Vertrauen genossen vor allem Banken, die die Abwicklung der Geldgeschäfte zu ihrem Metier gemacht hatten. Schuldscheine, die als Zahlungsmittel eingesetzt wurden, waren anfangs individuell, das heißt von einem konkreten Schuldner ausgestellt. Später ging man dazu über, universelle, vom Staat autorisierte Scheine in Umlauf zu bringen. Diese Papiere wurden zu Stellvertretern der Geldware, bei denen der Staat beziehungsweise eine Zentralbank garantierten, dass bei Vorlage der Gegenwert in Gold ausgezahlt würde.

Das Versprechen, den Gegenwert der Geldscheine in Gold auszuzahlen, wurde in Zeiten, da sich die Massenproduktion

etablierte, zu einer Gefahr, denn für den massenhaften Austausch war mehr Papiergeld in Umlauf, als Goldreserven vorhanden waren. Sollten die Verkäufer durch irgendwelche Ereignisse verunsichert werden, das heißt, ihr Vertrauen in die Stabilität der Märkte verlieren, würden sie womöglich die Papiere präsentieren und das versprochene Gold einfordern. In einem solchen Fall wären die Banken oder staatlichen Institutionen, die die Geldscheine ausgegeben hatten, kaum in der Lage, ihr Versprechen vollumfänglich einzulösen. Eine solche Situation konnte zum Kollaps der Märkte und ganzer Volkswirtschaften führen, was erhebliche politische Risiken zur Folge gehabt hätte. Um dieser Gefahr vorzubeugen, wurde die Garantie der Eintauschbarkeit der Geldscheine gegen Gold immer mehr eingeschränkt und später ganz aufgegeben. Damit verloren die Geldscheine ihren Bezug zum Gold; sie waren fortan nur noch bedrucktes Papier.

Das mit den Geldscheinen verbundene Versprechen beschränkte sich jetzt darauf, dass jeder per Gesetz verpflichtet war, Geldscheine für die Bezahlung beliebiger Waren und Dienstleistungen zu akzeptieren. Damit wurde jeder, der Papiergeld zur Bezahlung seiner Waren und Dienstleistungen annahm, gleichzeitig zum Kreditgeber, denn er verzichtete beim Verkauf auf eine reale Gegenleistung im Vertrauen darauf, mit dem erhaltenen Schein später eine von ihm benötigte gleichwertige Ware oder Dienstleistung einfordern zu können. Dass das für eine solche Kreditierung erforderliche Vertrauen auch missbraucht werden kann, zum Beispiel indem deutlich mehr Papiergeld in Umlauf gebracht wird, als Waren und Dienstleistungen verfügbar sind, wurde zur bitteren Erfahrung jener, denen die Hydra einer galoppierenden Inflation die Ersparnisse raubte.

Die grundlegende Umwälzung des Wirtschaftslebens hatte Einfluss auf das politische Weltgeschehen, denn die Wirtschaftskraft eines Landes wurde zum wichtigsten Faktor seiner Macht und seines Einflusses. Nicht zuletzt deshalb war die Förderung der Wirtschaft zu einem vorrangigen Anliegen der Regierungen geworden. Eine der wichtigsten Aufgaben in diesem Zusammenhang war die Schaffung einer zeitgemäßen Infrastruktur. Der Ausbau der Transportwege für Güter, Personen, Wasser, Elektrizität und Informationen erlangte auch für die Versorgung der Städte und der Armeen außerordentliche Bedeutung. Doch nicht nur die Wirtschaftsförderung auch die mit der Industrialisierung einhergehenden sozialen Verwerfungen wurden zur Herausforderung. Wiederkehrende Unruhen hatten gezeigt, dass ein Mindestmaß an sozialem Ausgleich notwendig war, um eine kontinuierliche wirtschaftliche Entwicklung zu gewährleisten. Da den Unternehmern der eigene Profit wichtiger war als die Entwicklung des Gemeinwesens, musste der Staat regulierend eingreifen. Die schweren Wirtschaftskrisen hatten zudem deutlich gemacht, dass den Unternehmen Rahmenbedingungen vorgegeben werden mussten, damit sich ihr Streben an volkswirtschaftlichen Notwendigkeiten orientierte. Die Eingriffe des Staates berührten wiederum die Interessen der Unternehmer, die nun vehement eine enge Abstimmung einforderten.

Im gleichen, atemberaubenden Tempo, in dem die Industrialisierung voranschritt, veränderten sich auch die Gewichte der Staaten im globalen Machtgefüge. In der vorangegangenen Periode hatten vor allem die Europäer die Welt unter sich aufgeteilt, wobei Großbritannien letzten Endes der größte Brocken zugefallen war. Die Dynamik des Maschinenzeitalters ließ jedoch keine tausendjährigen Reiche

mehr zu. Neue Spieler, wie Deutschland und die Vereinigten Staaten von Amerika, warfen ihre wachsende wirtschaftliche Potenz in die Waagschale, um im Kampf um Rohstoffe und Märkte bessere Positionen zu erlangen. Die internationalen Beziehungen waren auf derart dynamische Veränderungen nicht vorbereitet. Sie verharrten in einer Zeit, da der Hochadel staatliche Bündnisse ausgehandelt und durch familiäre Bande untermauert hatte. Dessen oft von Eitelkeiten gelenkte Politik, gepaart mit dem Expansionsstreben des immer stärker werdenden Großkapitals, führte Europa in einen Krieg, der am Ende ein Weltkrieg war und Millionen Menschen das Leben kostete. Da der Krieg auch im Stil vergangener Zeiten, das heißt mit Demütigungen und willkürlichen Machtverschiebungen, beendet wurde, geriet er zur Keimzelle weiterer Katastrophen. Immerhin, es war die letzte Schlacht des Adels, der mit dem Ende des ersten Weltkriegs endgültig von den Schalthebeln der Macht entfernt wurde.

In Russland wollten einige Revolutionäre nicht nur den Adel, sondern auch das Privateigentum abschaffen, was dazu beitrug, dass das Land im Elend eines Bürgerkriegs versank. Zur Rettung der Lage wurde ein zentralistisch organisierter Staatsapparat etabliert. Seine ersten Aufgaben sollten die Wiederherstellung des äußeren und inneren Friedens und eine Wirtschaftspolitik sein, die das Land vom dunklen Mittelalter in eine industrialisierte Zukunft katapultieren würde. Zur Erreichung dieser Ziele wäre, so glaubte man, jedes Mittel gerechtfertigt. In der Folge etablierte sich ein oftmals menschenverachtendes Regime. In Deutschland gab es ebenfalls eine siegreiche Revolution, eine faschistische, deren Protagonisten noch rücksichtsloser agierten. Ihre zügellose Machtgier mündete in einen rassistisch motivierten Völkermord und in einen Krieg um die Weltherrschaft, für den die

Sowjetunion zum Hauptfeind erklärt wurde. Deren Völker hatten dann auch den mit Abstand höchsten Blutzoll dieses Krieges zu beklagen. Es gelang ihnen jedoch, den deutschen Überfall abzuwehren und gemeinsam mit ihren Alliierten die faschistischen Armeen vernichtend zu schlagen.

Eine Lehre des zweiten Weltkriegs war die Einsicht, dass nur eine enge Zusammenarbeit der Staaten und Völker den Frieden bewahren kann. Man schuf internationale Gremien, wie die UNO mit ihren vielen Unterorganisationen sowie die Weltbank und den Internationalen Währungsfonds, die die Sicherheit der Staatengemeinschaft sowie ihre wirtschaftliche, soziale und kulturelle Zusammenarbeit fördern sollten. Gleichzeitig teilten die Siegermächte die Welt von neuem in Einflussphären auf. Die gezogenen Grenzen berücksichtigten die Interessen der dort lebenden Völker kaum, so dass aufs Neue Konfliktpotenzial angehäuft wurde. Darüber hinaus war den Großmächten bald wieder jedes Mittel recht, um ihre Einflussphären zu erhalten und auszudehnen. Zu diesem Zweck wurden Waffen in absurden Dimensionen angehäuft.

All die Katastrophen und Verwerfungen, die das 20. Jahrhundert prägten, haben den technischen Fortschritt nicht aufgehalten, im Gegenteil. Maschinen zogen immer stärker in das Leben der Menschen ein. Sie ersetzten ihre Arbeitskraft in der Industrie, in der Landwirtschaft und zunehmend auch im Dienstleistungsbereich, sie eroberten die Haushalte und sie veränderten die Kommunikation der Menschen untereinander. Trotz aller politischen Hemmnisse vertiefte sich auch die Kooperation der Unternehmen über Ländergrenzen hinweg. Auf immer mehr Gebieten erwies sich zudem die internationale Zusammenarbeit als zwingend, um den drängenden globalen Herausforderungen begegnen zu können. Gleichzeitig

verstärkten sich die Ungleichgewichte zwischen den Regionen und Ländern der Welt, nicht zuletzt, weil die reichen Länder ihre Machtstellung nutzten, um die Bedingungen des internationalen Handels zu ihrem eigenen Vorteil zu gestalten. Hinzu kam, dass mit dem Zerfall der Sowjetunion das Denken in Einflussphären keinesfalls unterging. Maßgebliche Kräfte in den USA sahen sich vielmehr darin bestätigt, dass nur sie allein berufen seien, die Welt in ihrem Sinn zu ordnen.

Doch, nichts bleibt so, wie es ist.

II. Dialektik

Der Begriff der Dialektik ist in der Geschichte unterschiedlich gebraucht worden. Meist wurde er jedoch als Methode des Denkens verstanden, als eine Methode des Sich-Annäherns an die Wirklichkeit. Im Mittelpunkt des dialektischen Denkens steht das Wirken von Gegensätzen (= Widersprüchen).

1. Zum Wesen des Widerspruchs

Ein dialektischer Widerspruch besteht aus zwei Seiten, Polen oder Aspekten, die sich gegenseitig ausschließen und doch einander bedingen. Anhand dieses Merkmals lassen sich dialektische Gegensätze von anderen (scheinbaren) Widersprüchen abgrenzen. Zum besseren Verständnis sei ein Zusammenhang angeführt, der mich lange Zeit beschäftigt hat - das Verhältnis von unbelebter und belebter Natur. Beide sind klar voneinander unterschieden, das heißt, die in der Natur vorhandenen materiellen Strukturen lassen sich entweder der einen oder der anderen Seite zuordnen. In diesem Sinn schließen sie einander aus. Sie wirken gleichzeitig aufeinander ein, denn das Vorhandensein bestimmter mineralischer und anderer Stoffe war Voraussetzung für die Entstehung und die Fortexistenz des Lebens. Umgekehrt wirkt das Leben, in dem es diese Stoffe aus der Umwelt entnimmt und Abfallprodukte ausscheidet, auf die unbelebte Natur zurück. Aber, bedingen sie sich auch gegenseitig? Die unbelebte Natur war und ist die Voraussetzung für die Entstehung von Leben. Die Umkehrung gilt jedoch nicht, denn die Erde existierte bereits einige Milliarden Jahre, bevor Leben auf ihr entstand. Da sie sich nicht gegenseitig bedingen, kann das Verhältnis von unbelebter Natur und Leben nicht das eines dialektischen Gegensatzes sein. Es handelt sich vielmehr um zwei Stufen in der Entwicklung der Natur. Sollte das Leben auf

Erden eines Tages verschwinden, wäre das nicht zwangsläufig das Ende aller Natur. Bei einem dialektischen Gegensatz gehen im Falle des Falles jedoch immer beide Seiten unter, oder beide gehen in neuen Zusammenhängen auf.

Nun zu einem tatsächlichen dialektischen Gegensatz.

Die Dialektik von hell und dunkel

Hell und dunkel sind Wahrnehmungen der Augen, die auf der Reaktion von Rezeptoren der Netzhaut, den Stäbchen, basieren. Die Stäbchen reagieren auf energetische Strahlung eines bestimmten Frequenzbereichs, dem für uns sichtbaren Licht, in dem sie die Energie der auftreffenden Photonen aufnehmen und einen elektrischen Impuls erzeugen, den sie an das Gehirn weiterleiten. Das Gehirn ordnet den eintreffenden Impulsen den Sinneseindruck „hell“ zu. Wird von anderen Stäbchen kein Impuls geliefert, bedeutet dies, dass keine Photonen registriert wurden. Diesen Informationen ordnet das Gehirn den Eindruck „dunkel“ zu. Hell und dunkel basieren also auf alternativem Verhalten der Rezeptoren, das heißt, sie schließen einander aus.

Auf der anderen Seite haben hell und dunkel die gleiche Basis – sie basieren auf dem Verhalten der Stäbchen auf Licht. Anders gesagt, das Gehirn ordnet einer Informationsquelle, dem Licht, zwei gegensätzliche Wahrnehmungen zu. Dunkel basiert auf der Information, dass kein Licht registriert wurde, denn sonst wäre es hell. Umgekehrt definiert sich hell daraus, dass Licht eingetroffen ist und es deswegen nicht dunkel sein kann. Das heißt, hell und dunkel beziehen ihren Informationswert aus dem jeweiligen Gegenteil. Hell macht nur in der Abgrenzung zu dunkel Sinn, und umgekehrt. Dies wird auch darin deutlich, dass sich ihr

Informationsgehalt erst im Kontrast zueinander in aller Deutlichkeit offenbart.

Dialektik Dialektik Dialektik Dialektik
Dialektik Dialektik

Unsere primäre Lichtquelle ist die Sonne. Würden wir nur das Licht, das die Sonne abstrahlt, wahrnehmen, könnten wir jedoch nicht viel mehr als Tag und Nacht unterscheiden. Für die Orientierung in der Umwelt wäre das wenig hilfreich. Das Licht erhält seine Bedeutung für uns dadurch, dass die Dinge um uns herum unterschiedlich auf das Licht reagieren, es in unterschiedlichem Maß absorbieren oder reflektieren. Die Dinge werden dadurch zu sekundären Lichtquellen, die unterschiedlich hell oder dunkel sind. Die entstehenden Abstufungen ermöglichen uns, sie zu unterscheiden. Die für uns wichtigen Informationen stecken also vor allem in den Übergängen zwischen ganz hell und ganz dunkel. Erinnern wir uns noch einmal an den Spaziergang im Park. Da die Bäume das vorhandene Licht stärker absorbieren als andere Dinge, kann man sie dunkel abgehoben wahrnehmen und einige zweifellos schmerzhaft Zusammenstöße vermeiden. Wichtig für die Orientierung ist hier die Information, dass Bäume im Wege sind. Interessiert man sich für einen konkreten Baum, dann bemerkt man vielleicht, dass seine Rinde an manchen Stellen beinahe glatt und an anderen bemoost ist. Vielleicht kann man auch Rillen, vernarbte Wunden und andere Details unterscheiden, da sie in unterschiedlicher Weise das Licht reflektieren. Das heißt, für die Orientierung in der Landschaft reicht die vereinfachte Information "dunkles Etwas ist ein Baum" völlig aus. Mehr Information stellt uns das Gehirn auch nicht zur Verfügung. Erst, wenn nicht das Hindernis Baum interessant ist, sondern der Baum mit seiner

Oberflächenstruktur, dann nähert man sich ihm in anderer Weise, dann werden weiterführende Informationen zur Bewertung erfasst. Interesse steuert die Wahrnehmung. Was man wahrnimmt, hängt also nicht nur vom Gegenstand der Wahrnehmung, sondern auch vom Zweck der Betrachtung ab.

An dieser Stelle müssen wir uns noch einmal kurz den Farben widmen. Farbe ist ein Sinneseindruck, den uns das Gehirn beschert, trotzdem basieren die Farben und Farbtöne auf realen Unterschieden der Dinge hinsichtlich ihrer Fähigkeit zur Absorption beziehungsweise Reflexion von Licht. Auf Basis dieser Unterschiede und mit Hilfe der Farben können wir die Dinge schnell unterscheiden. Der Zweck steht im Vordergrund. Wird mit der Art der Wahrnehmung dieser Zweck erreicht, dann ist die Wahrnehmung hinreichend wahr. Sie ist jedoch nicht die Wirklichkeit und auch kein identisches Abbild von dieser. Ähnliches gilt für die unterschiedlichen Wahrnehmungen des Baumes. Wird der Zweck erreicht, im Beispiel war es die Orientierung in einem Park, dann entspricht die Wahrnehmung "dunkler Baum" diesem Zweck. Dass der Baum weder dunkel ist, noch eine homogene Oberfläche hat, spielt für den Moment keine Rolle. Die Wahrnehmung ist hinreichend wahr, auch wenn sie das Phänomen "Baum" nicht einmal im Ansatz erfasst. Hinzu kommt, dass selbst das Betrachten ein sich fortwährend modifizierender Prozess ist. Nicht nur der Fokus der Wahrnehmung ändert sich immerfort, auch die Dinge selbst sind in ständiger Veränderung begriffen. Alle Versuche, diese Dynamik einzuschränken, zum Beispiel durch das Starren auf einen Punkt, sind anstrengend und nur begrenzt möglich. Das Gleiche gilt für den Wechsel von hell und dunkel. Das Auge braucht diesen Wechsel und die Übergänge zwischen den Extremen. Es mag weder "nur hell" noch "nur dunkel". Wird es einem solchen Stress ausgesetzt, leidet über kurz oder lang die Sehfähigkeit.

Fassen wir zusammen. Gegensätze bestehen aus zwei einander ausschließenden Seiten, Polen oder Aspekten eines Dinges, einer Situation oder einer Erscheinung, die trotz ihrer Gegensätzlichkeit ein Ganzes bilden, in dem das eine nicht ohne das andere existieren kann. Die gegensätzlichen Seiten und der aus ihnen erwachsende Kontrast sind jedoch nur ein Merkmal des Widerspruchs. Seine große Vielfalt liegt im Spektrum der Übergänge, hier in den schier unendlich vielen Abstufungen von hell und dunkel. Darüber hinaus ist ein Widerspruch in ständiger Veränderung begriffen, weil sich einerseits seine inneren Wechselwirkungen, im Beispiel der Zweck der Wahrnehmung, und andererseits die äußeren Bedingungen, hier die betrachtete Umwelt, permanent verändern.

Objektive Realität und subjektive Wahrnehmung

In Bezug auf das "Sehen" haben wir festgestellt, dass die Differenzierung von hell und dunkel sowie einer Vielfalt von Farben gute Dienste bei der Orientierung in dieser Welt leisten. Das, was wir sehen, ist jedoch unser subjektives Bild von der Welt, denn hell und dunkel, wie auch die Farben, sind Imaginationen des Gehirns. Das Gehirn beglückt uns aber nicht nur mit diesen Sinneseindrücken, auch Geschmack, Geruch, Geräusche und Laute, Sprache und Musik entstehen im Kopf. Selbst das Empfinden von Berührungen, von Wärme und Kälte, von Schmerz und Lust verdanken wir dem Gehirn. Es drängt sich die Frage auf, in welchem Verhältnis die subjektiven Wahrnehmungen zum „Gegenstand“ dieser Wahrnehmungen, zur objektiven Realität, stehen.

Die Umwelt, die Realität existiert unabhängig davon, ob und wie wir sie wahrnehmen. In diesem Sinne ist sie objektiv. Andererseits existiert diese objektive Realität *für uns* nur in Form der

subjektiven Wahrnehmungen von ihr. Die unabhängig von unserer Wahrnehmung bestehende Realität und die subjektive Wahrnehmung von ihr sind also zwei klar voneinander unterschiedene Aspekte. Unsere subjektive Wahrnehmung ist jedoch nur möglich, weil die Umwelt real existiert. Die Wahrnehmung ist kein Abbild derselben, sondern eine spezifische Verarbeitung der uns zugänglichen Informationen über die Eigenschaften der Dinge, die uns umgeben. So sind die Farben Ausdruck eines differenzierten Vermögens der Dinge, Licht zu reflektieren oder zu absorbieren. Wenn die Rose in der Realität auch nicht rot ist, ist doch klar, dass ihre Blütenblätter Licht der Frequenz 430 bis 480 Tausend Hertz fast vollständig reflektieren, während Licht aller anderen Frequenzen von ihnen absorbiert wird. Das heißt, die subjektive Wahrnehmung "rot" ist letztlich durch die objektive Eigenschaft der Blütenblätter bestimmt.

Nach den Überzeugungen der Dialektik muss auch die Umkehrung gelten, das heißt, die objektive Realität muss durch die subjektive Wahrnehmung bedingt sein. Und tatsächlich, aus dem Blickwinkel der Menschen existiert die Umwelt nur insofern beziehungsweise in dem Maß, wie wir sie in der ein oder anderen Weise wahrnehmen. Was ich nicht weiß, macht mich nicht heiß - oder anders: Umwelt, die man nicht wahrnehmen kann, existiert für uns nicht. Man mag einwenden, dass die objektive Realität auch dort existiert, wo wir sie nicht wahrnehmen. Das ist richtig, doch es liegt außerhalb des hier untersuchten Bezugssystems von subjektiver Wahrnehmung und objektiver Realität. Nehmen wir ein Beispiel. Wenn die Menschen in den vergangenen Jahrtausenden nicht wahrnehmen konnten, dass irgendwo im Weltall ein Stern explodiert war, dann hatte dieses Unwissen keinerlei Einfluss auf die Entwicklung der Menschheit. Das heißt, diese Sternenexplosion gab es für die Menschen nicht, und dies

blieb ohne Folgen. Das Ereignis lag außerhalb des relevanten Bezugs Mensch - Umwelt. Trotzdem war diese Sternenexplosion real und sie hatte spürbaren Einfluss auf weite Teile des Universums.

Mag auch die Sternenexplosion für unsere Vorfahren ohne Bedeutung gewesen sein, so gab es doch andere Naturerscheinungen, die ihr Leben massiv beeinflussten. Da sie sich viele dieser Erscheinungen nicht erklären konnten, machten sie überirdische Wesen dafür verantwortlich. Diese Erklärung ging in ihr Bild von der Welt ein. Wenn Blitz und Donner einem Gott zugeschrieben werden, den man mit Bitten und Gaben gnädig stimmen muss, dann gehen eben nicht nur Blitz und Donner, sondern auch dieser Gott und die mit ihm verbundenen Rituale in das Leben ein. Man kann also sagen, die objektive Realität geht in das Leben der Menschen in dem Maß ein, wie sie sie wahrnehmen und dies mit der Deutung, die sie diesen Wahrnehmungen geben.

Die subjektive Wahrnehmung ist die Wahrnehmung der Realität. Es ist jedoch in jedem Fall eine durch die Art der Informationsverarbeitung vermittelte Wahrnehmung. Wie stark die "Vermittlung" ist, das ist bei den einzelnen Sinnen und den mit ihnen verbundenen Wahrnehmungen unterschiedlich. Diese „Vermittlung“ ist bei der Wahrnehmung von hell und dunkel oder von Farben und Gerüchen recht weitgehend. Große räumliche Strukturen können wir hingegen schnell und realistisch erfassen, damit wir sicher den Weg finden. Mitunter lässt das erfasste Bild jedoch Gefahren nicht ausreichend deutlich werden. Lichtreflexionen können die Konturen der Dinge verwaschen erscheinen lassen, so dass die Kanten des in den Weg ragenden Felsvorsprungs womöglich nicht klar sichtbar werden. Hier hilft das Gehirn, indem es die Konturen hervorhebt, damit wir

schmerzhafte Zusammenstöße vermeiden können. Beim Erkennen der Formen und Konturen der Dinge ist unser Gehirn also durchaus "vermittelnd" tätig, allerdings in einem ungleich geringeren Maß als bei den Farben.

Ein möglichst reales Bild der Umwelt braucht man nicht nur in Bezug auf die Form eines Felsens und seiner Kanten, auch die Lage des Felsens in der Landschaft ist von Bedeutung. Will der Jäger den Weg zurück nach Hause finden, dann muss er die Gegebenheiten im Gedächtnis behalten. Kommt er auf dem Heimweg an besagtem Felsen vorbei, kann das Gehirn dessen Bild mit dem im Gedächtnis gespeicherten abgleichen und den rechten Weg weisen. Aber, die Dinge verändern sich. Einerseits war er den ganzen Tag unterwegs, so dass er am Abend den Felsen aus einem anderen Blickwinkel zu Gesicht bekommt, als er ihn vom Morgen her in Erinnerung hat, andererseits hat sich auch sonst einiges verändert, zum Beispiel, weil die Sonne auf die andere Seite des Firmaments gewandert ist oder weil ein Sturm Bäume knickte. Trotzdem hat unser Jäger gute Chance sich zurechtzufinden. Diesen Umstand verdankt er der Fähigkeit des Gehirns, die Informationen auf wesentliche Inhalte zu reduzieren, das heißt, den Fokus auf wenige, besonders markante Gegebenheiten zu richten. Die derart verkürzten Informationen können mit den ebenfalls auf wenige Merkmale reduzierten Bildern im Gedächtnis abgeglichen werden. Auf diese Weise wird die Orientierung auch dann möglich, wenn Bäume umgeknickt sind, sich die Lichtverhältnisse geändert haben und der Jäger von einer anderen Richtung kommend die Lichtung betritt.

Unter dem Strich bleibt festzuhalten, dass unsere Wahrnehmungen nur einen mehr oder weniger adäquaten Eindruck der Realität vermitteln. Die Hilfestellungen, die uns das Gehirn bei der Verarbeitung der Informationen aus der Umwelt

gibt, reichen von geringfügig bei der zwar verkürzten aber ansonsten realistischen Abbildung räumlicher Zusammenhänge, über leichte Hilfestellungen bei der Hervorhebung von Konturen bis hin zur Wandlung der Informationen in spezifische Sinneseindrücke wie Farben, Geräusche und Düfte. Alle diese Vermittlungen und Umformungen sollen uns helfen, die hereinbrechende Informationsflut zu beherrschen, damit wir in der Welt bestehen können.

Die Aspekte eines Gegensatzes müssen nach den Überzeugungen der Dialektik auch wechselseitig identisch sein. Wie ist das zu verstehen? Die subjektive Wahrnehmung der Umwelt ist für jeden Menschen in gewissem Sinn einzigartig, zum einen, weil die Ausprägung der Sinnesorgane nicht bei jedem absolut gleich ist und zum anderen, weil jeder Mensch spezifische Erfahrungen gesammelt hat, die zu einer unterschiedlichen Deutung des Wahrgenommenen führen können. Die beschriebenen Unterschiede sind jedoch meist gering, weshalb wir uns relativ problemlos mit anderen über unsere Wahrnehmungen austauschen können. Da fast alle Menschen vergleichbare Sinneswahrnehmungen erleben, erfahren sie diese als *objektiv* gegeben. Die auf diese Weise entstehende Objektivierung verführt dazu, dass die Wahrnehmungen mit der objektiven Wirklichkeit gleichzusetzen. Richtig bleibt jedoch, dass unsere Wahrnehmungen kein reales Abbild der Wirklichkeit sind, sondern, dass sie uns einen über die Sinne und das Gehirn vermittelten Eindruck von der Wirklichkeit geben.

Auf der anderen Seite ist die objektive Realität, mit der wir interagieren, die wir untersuchen, in der wir uns bewegen, immer ein Ausschnitt, ein *subjektiv* bestimmter Teil, des Ganzen. In diesem Sinn ist die objektive Realität subjektiv. Es wäre auch gar nicht möglich, die Realität in ihrer Gesamtheit, mit all ihren

Wechselwirkungen und Veränderungen zu erfassen. Allerdings lauern auch hier Missverständnisse. Für eine Untersuchung, sei es im Alltag oder zu wissenschaftlichen Zwecken, wählt man ein konkretes Bezugssystem aus, um die dort wirkenden Faktoren und deren Veränderung zu beobachten. Das heißt, man beschränkt sich in der Untersuchung auf die für das gewählte Bezugssystem wichtigen Faktoren. Das ist legitim, da man die Gesamtheit aller möglichen Wechselwirkungen ohnehin nicht in eine einzige Untersuchung einbeziehen kann. Bei der Konzentration auf wichtige Faktoren muss man sich jedoch im Klaren sein, dass es in der Realität weitere Faktoren gibt, die vielleicht im Moment vernachlässigt werden können, die aber unter anderen Umständen relevante Auswirkungen auf den untersuchten Zusammenhang haben.

Wie ordnet sich das "Messen" in diese Überlegungen ein? Das Messen beruht auf Wahrnehmungen unserer Sinne. Meist „sehen“ wir den Gegenstand der Messung wie auch das Messwerkzeug. Auf dem Messwerkzeug, das zum Bezugsobjekt der Messung wird, ist ein Maßstab aufgetragen, mit dessen Hilfe wir das Ergebnis quantifizieren. Will man die Ergebnisse mehrerer Messungen miteinander vergleichen, dann müssen sie sich auf denselben Maßstab beziehen und sie müssen unter den gleichen Bedingungen vorgenommen werden. Zur Erleichterung der Messvorgänge beziehungsweise zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden Maßstäbe des Messens verbindlich festgelegt. Dadurch wurden sie in gewisser Weise "objektiviert". Der Nachteil dieser Objektivierung besteht darin, dass leicht aus dem Blick gerät, dass es sich beim Messen *immer um ein Vergleichen* mit einem mehr oder weniger willkürlich festgelegten Maßstab handelt.

Neben den Eigenschaften der Dinge wie Ausdehnung, Masse und Lage im Raum messen wir auch die Geschwindigkeit von Bewegungen. Die Geschwindigkeit eines Objekts ist definiert als die Länge des Wegs, den es in einer Zeiteinheit zurücklegt. Das heißt, es müssen zwei Komponenten, der Weg und die Zeit, gemessen werden. Beide Messungen beziehen sich auf einen Maßstab, sind also relative Größen. Darüber hinaus braucht man ein sich nicht bewegendes Bezugsobjekt, das als Ausgangspunkt für das Messen der Geschwindigkeit, mit der sich das zu messende Objekt entfernt oder nähert, dient. Bei Messungen auf der Erde ist das relativ unproblematisch, da der Planet selbst dieses Bezugsobjekt ist. Sollen Geschwindigkeiten im Weltraum ermittelt werden, tauchen jedoch Schwierigkeiten auf, da dort kein "ruhendes" Bezugsobjekt zu finden ist.

Für eine Messung eine entsprechende Messung im Weltraum ist als erstes ein Bezugssystem aus zwei Objekten, die sich aufeinander zu- oder voneinander wegbewegen, zu definieren. In diesem Bezugssystem kann allerdings nicht festgestellt werden, ob sich beide Objekte bewegen oder nur eines, respektive welches Objekt mit welcher Geschwindigkeit seinen Weg macht. Heißt das, dass es keine Unterschiede in der Bewegung der beiden Objekte gibt, weil wir sie in dem gewählten Bezugssystem nicht feststellen können? Wir könnten ein zweites Bezugssystem für unsere Objekte definieren und auf diese Weise weitere Beobachtungen hinzufügen. Ein Beobachter, der sich außerhalb des ersten Bezugssystems befindet, kann zum Beispiel feststellen, ob sich, von seinem Standpunkt aus, beide Objekte bewegen oder nur eines. Sollten sich beide aufeinander zubewegen, könnte er unter Umständen sogar realisieren, welches von beiden Objekten schneller unterwegs ist.

Wenn wir die Wahrnehmungen des zweiten Beobachters bewerten, müssen wir allerdings beachten, dass er mit den beobachteten Objekten ein neues Bezugssystem bildet, in dem wiederum nicht klar ist, welchen Einfluss seine eigene Bewegung auf die Beobachtungen hat. Es könnte ja sein, dass sich der Beobachter in der gleichen Geschwindigkeit und in die gleiche Richtung wie eines der Objekte bewegt. Dann würde für ihn dieses Objekt in Ruhe verharren, während sich das andere mit großer Geschwindigkeit annähert oder entfernt. Ein sich auf andere Weise bewegendes Beobachter würde zu einem anderen Ergebnis gelangen. Um die Aussage dieses Beobachters bewerten zu können, muss auch seine Bewegung bestimmt werden. Seine Bewegung kann man jedoch ebenfalls nur in Bezug auf andere Objekte feststellen, das heißt, wir bräuchten noch einen außenstehenden Beobachter. Letztendlich müssten wir alle erdenklichen Bezugssysteme untersuchen, um eine umfassende Charakterisierung der Bewegung des Objekts, um eine objektivierte Messung von dessen Geschwindigkeit zu erhalten. Es ist jedoch unmöglich, die Gesamtheit aller erdenklichen Bezugssysteme in eine Beobachtung einzubeziehen, weil jede Bewegung eines Objektes mit allen anderen Objekten dieses Universums und deren Bewegungen ein Bezugssystem bilden kann. Das heißt, man kann sich der Beschreibung einer realen Bewegung im Universum nur annähern, ohne sie in ihrer Komplexität gänzlich zu erfassen. Bloß gut, dass auf Erden dieses Problem nicht besteht. Richtigerweise müsste man sagen, dass wir dieses Problem ignorieren, denn unsere Annahme, dass die Erde ein "ruhendes" Objekt sei, ist genau genommen falsch. Die Erde bewegt sich um sich selbst und um die Sonne sowie mit dem Sonnensystem durch die Galaxis, so dass jede ganzheitliche Beschreibung einer Bewegung auf Erden diese Aspekte eigentlich berücksichtigen müsste. Da die Bewegungen der Erde im Weltall

für unsere alltäglichen Belange ohne Bedeutung sind, bleibt jedoch deren Vernachlässigung ohne Folgen.

Die Feststellung, dass unsere Möglichkeiten hinsichtlich der Exaktheit von Messungen beschränkt sind, gilt im Übrigen nicht nur für Geschwindigkeiten, sondern für alle Bereiche, in denen wir Messungen vornehmen. Nehmen wir als Beispiel die Messung der Temperatur in einem Raum. Es soll sich um einen beheizten Wohnraum mit geschlossenen Fenstern und Türen handeln. Für unsere Messung benutzen wir ein Zimmerthermometer. Es zeigt 21°C an. Das war's. Aber halt, unsere Wärmequelle ist eine Konvektionsheizung. Das hat zur Folge, dass die erwärmte Luft nach oben steigt, so dass es dort wärmer ist als am Fußboden. Die Fenster schließen zwar gut, trotzdem ist es in Fensternähe geringfügig kühler als in der Mitte des Raumes. Die Türen sind nicht dicht, das heißt, Luft zirkuliert zwischen den Zimmern, die wiederum nicht in gleicher Weise beheizt werden. Außerdem hat der Raum zwei Außenwände und zwei Wände zu anderen Räumen hin. Während die Außenwände, Wärme absorbieren und es deshalb in ihrer Nähe kühler ist, geben die Innenwände womöglich Wärme ab. Dann ist da noch das Sonnenlicht, das Wärme spendet, aber nicht alle Bereiche des Raumes gleichermaßen erreicht. Spätestens jetzt müsste man fragen, was unsere Messung von 21°C Raumtemperatur eigentlich wert ist. Dabei ist noch nicht einmal berücksichtigt, dass das Messgerät außerordentlich ungenau war und der Luftdruck nicht 760 Torr erreichte. Zu berücksichtigen wäre eigentlich auch, dass all diese Faktoren Veränderungen unterworfen sind, zum Beispiel, weil sich gerade eine Wolke vor die Sonne geschoben hat. Es ließen sich noch viele andere Faktoren ausmachen, die in irgendeiner Weise Einfluss auf die Temperatur und deren Verteilung im Raum nehmen. Wir müssen wohl akzeptieren, dass jegliche Messung

der Raumtemperatur eine gewisse Ungenauigkeit besitzt. Um festzustellen, ob der Raum ausreichend beheizt ist, reicht die Messung mit dem Zimmerthermometer allerdings aus.

Mit anderen Worten, jede Messung ist eine subjektive Wahrnehmung, die nicht mit der objektiven Realität identisch ist. Sie erfasst immer nur einen Teil der Wechselwirkungen und dies in einem zeitlichen Ausschnitt. Trotzdem basiert die Messung auf der objektiven Realität, ohne die sie keinen Gegenstand hätte. Dieser Zusammenhang gilt auch für das Verhältnis von relativer und absoluter Bewegung. Wir können Bewegungen nur relativ, das heißt im Verhältnis zu einem Bezugsobjekt, messen. Voraussetzung für eine Messung bleibt aber, dass es eine Bewegung gibt, die unabhängig von unserer Messung absolut oder objektiv vorhanden ist.

Dialektik von Struktur und Bewegung

Nach meiner Überzeugung beschreibt die Dialektik von Struktur und Bewegung den grundlegenden Gegensatz, den Gegensatz, der die Welt zusammen und in Bewegung hält. Wenn wir uns in diese Dialektik hineindenken, finden wir Antworten auf viele Fragen zu ihrem Aufbau und zu ihrer Entwicklung. Für dieses Hineindenken werden wir die bereits herausgearbeiteten Merkmale eines dialektischen Gegensatzes nutzen.

Die Seiten eines Gegensatzes schließen einander aus.

Alles im Universum ist Struktur oder Bestandteil einer Struktur. Die Teile einer Struktur stehen in einer definierten Beziehung zueinander. Jedes Teil hat seinen Platz, gegebenenfalls auch seine Aufgabe im Gesamtverbund. Damit sind Strukturen Ausdruck von Stabilität.

Alles im Universum ist in Bewegung. Durch Bewegungen können bestehende Strukturen aufgelöst werden, so dass freie Teile entstehen. Die freien Teile können wiederum neue Strukturen bilden, die durchaus andere Eigenschaften als die aufgelösten aufweisen können. Damit sind Bewegungen Ausdruck von Veränderung.

Wenn Struktur Stabilität bedeutet und Bewegung Veränderung impliziert, dann sind Struktur und Bewegung grundsätzlich verschieden, sie schließen einander aus.

Die Seiten eines Gegensatzes bedingen einander.

Was bewegt sich denn nun? Strukturen und ihre Teile bewegen sich. Kelvin hat gezeigt, dass beim absoluten Nullpunkt jede Bewegung erstarben ist. Dieser absolute Nullpunkt wird nicht erreicht, weil es in der Natur keine Struktur ohne Bewegung gibt. Genauso wie jede Struktur Bestandteil einer übergeordneten Struktur ist, genauso ist auch jede Bewegung Bestandteil der Bewegung dieser übergeordneten Struktur, oder, wenn man so will, der übergeordneten Bewegung. Die Bewegung des Mondes um die Erde geht in der Bewegung der Erde um die Sonne auf. Die Bewegung der Erde um die Sonne wäre hier die übergeordnete Bewegung, die auch ohne einen Mond stattfinden würde.

Gibt es Bewegung ohne Struktur? Max Planck hat gezeigt, dass Energie, die man als Inkarnation von Bewegung sehen kann, in „Paketen“, von ihm Quanten genannt, abgegeben wird. Sie sind die kleinsten bekannten Strukturelemente, das heißt, sie sind nicht aus noch kleineren Strukturelementen aufgebaut. Trotzdem gibt es in ihrem Inneren Bewegungen, die einer bestimmten Struktur folgen und die den Quanten eine Form verleihen. Die

Form ist wiederum die Voraussetzung dafür, dass sie sich um sich selbst drehen und im Raum ausbreiten können.

Es gibt also keine Struktur ohne Bewegung wie auch keine Bewegung ohne Struktur existiert. Eine Struktur ohne Bewegung würde Erstarrung und eine Bewegung ohne Struktur Verlust jeglichen Zusammenhangs bedeuten. Struktur und Bewegung bedingen einander. Nur in einem relativen Gleichgewicht beider Faktoren sind sowohl Stabilität wie auch Veränderung möglich.

Die Seiten des Gegensatzes gehen ineinander über.

Wenn man einer Struktur Energie zuführt, dann verstärkt sich die Bewegung ihrer Teile. Wird diese Bewegung zu stark, dann werden die bisherigen Verbindungen gesprengt. Die Struktur verändert sich, sie wird flexibler. Auf diese Weise kann aus einem relativ starren Kristallgitter ein flexibler, das heißt flüssig erscheinender Verbund entstehen. Wird nun diesem Verbund weiter Energie zugeführt, können auch die verbliebenen Bindungen aufgelöst werden. Die Bestandteile bilden nun eine lose gasförmige Gemeinschaft von sich eher chaotisch gebenden Bestandteilen, die versuchen, in den Raum zu entschwinden. Mit anderen Worten, je mehr Energie einer Struktur zugeführt wird, umso mehr löst sich ihr Zusammenhang auf. Struktur geht in ungebundene Bewegung über. Wird den sich frei bewegenden Teilen wieder Energie entzogen, dann brauchen sie die vorher eroberten Bewegungsräume nicht und sie finden sich wieder in kleineren, stabileren Formen zusammen.

Der geschilderte Zusammenhang von Struktur und Bewegung beinhaltet jedoch keinen Automatismus, in dem Sinne, dass Energiezufuhr sofort und in jedem Fall zur Veränderung der Strukturen führt. Strukturen sind in der Lage Energie in einem

bestimmten Maße zu integrieren beziehungsweise abzugeben, ohne dabei größeren Schaden zu nehmen. Erst ab einem bestimmten Punkt, der je nach Struktur und äußeren Bedingungen variiert, reicht die Selbsterhaltungskraft der Struktur nicht aus, so dass sie sich verändert oder zerstört wird. Mit anderen Worten, das in der Struktur vorhandene Gleichgewicht der Kräfte ist eine in bestimmten Grenzen elastische Größe. In diesem Sinn kann man von einem dynamischen Gleichgewicht sprechen. Wird allerdings ein kritischer Punkt überschritten, dann verändern sich die Strukturen nachhaltig.

Das Verhältnis von Masse und Energie, als Erscheinungsform des Verhältnisses von Struktur und Bewegung, ist Gegenstand der durch Einstein berühmt gewordenen Formel $E=mc^2$. Indem sie das Verhältnis von Masse und Energie quantifiziert, setzt diese Formel voraus, dass beide ineinander umgewandelt werden können. Die Umwandelbarkeit von Energie in Masse wird unter anderem für die Bestimmung der Ruhemassen von Elementarteilchen genutzt. Bei der Ruhemasse geht man davon aus, dass die gesamte Energie eines Teilchens in Masse übergegangen sei. Diese Annahme ist insofern eine Krücke, ein Hilfsmittel, als die Teilchen nicht "in Ruhe" existieren. Mit der Zusammenfassung von Energie und Masse in einer Größe schafft man jedoch die Möglichkeit, Elementarteilchen miteinander zu vergleichen. Der Zusammenhang von Masse und Energie gilt nicht nur auf der Ebene der Elementarteilchen, er hat auch für das Universum in seiner Gesamtheit Gültigkeit. Wir wissen, dass sich das Universum ausdehnt und dies mit zunehmender Geschwindigkeit. Das heißt, auf die Gesamtheit des Universums bezogen nimmt die Bewegung zu, zwangsläufig muss seine

Strukturiertheit tendenziell abnehmen. Diesen Zusammenhang widerspiegelt der zweite Hauptsatz der Thermodynamik.

Der Übergang von Masse in Energie ist nicht nur eine Frage für Spezialisten, er spielt auch im Alltag eine wichtige Rolle. So ist unser Leben von der Sonne, respektive von der von ihr gespendeten Energie, abhängig. Sie kann uns mit Energie überschütten, weil in oder auf ihr Prozesse ablaufen, die Masse in Energie verwandeln. Selbst ein simples Feuer, ohne dessen Beherrschung es uns heutige Menschen kaum gäbe, beruht auf diesem Wandlungsprozess. Umgekehrt vermögen Pflanzen, mit Hilfe der Sonnenenergie Strukturen zu bilden, Masse aufzubauen. Die von den Pflanzen geschaffenen organischen Substanzen sind wiederum die Basis für das Leben der Tiere, deren wichtigste Energiespender sie sind. Dazu wandeln Tiere die Pflanzen in körpereigene Energieträger um, die sie bei Bedarf aufspalten, um die jeweils erforderliche Energie freizusetzen. Bereits mit diesen wenigen Beispielen wird deutlich, dass Umwandlungsprozesse von Masse in Energie und umgekehrt allgegenwärtig sind.

Masse und Energie

Bisher wurden die Begriffspaare Masse/ Energie und Struktur/Bewegung fast synonym gebraucht. Doch sind Masse und Struktur beziehungsweise Energie und Bewegung wirklich identisch? Falls nicht, ist es notwendig, beide Begriffspaare voneinander abzugrenzen, ihre Gemeinsamkeiten und Unterschiede herauszuarbeiten.

Eine Struktur ist relativ leicht zu charakterisieren. Es ist ein Konstrukt verschiedener Teile, die sich in einer bestimmten Ordnung zueinander befinden, wobei sie gleichzeitig in Bewegung sind. Ihr Aufbau kann zum Beispiel durch ein Zentralobjekt, das

sich um sich selbst dreht, und Trabanten, die sich um das Zentralobjekt herumbewegen, charakterisiert sein. Strukturen gehen darüber hinaus Verbindungen ein, die unterschiedlich geprägt sein können, so dass eine fast unüberschaubare Vielfalt konkreter Gebilde entsteht.

Masse wird in der Physik entweder als schwere Masse oder als träge Masse beschrieben. Dem liegen Beobachtungen zugrunde, die aus verschiedenen Wegen zur Bestimmung einer Masse resultieren. Auf Erden nutzt man den Umstand, dass Strukturen bei der Einwirkung einer gleichbleibenden Schwerkraft in unterschiedlichem Maß Gewicht erhalten. Im schwerelosen Weltraum wird die Beobachtung zugrunde gelegt, dass Strukturen bei Einwirkung eines gleichen Energiebetrags unterschiedlich beschleunigt werden. Beide Beobachtungen lassen Rückschlüsse auf die Masse der untersuchten Strukturen zu. Die ermittelten Verhältnisse hinsichtlich der Größe der Massen sind bei beiden Versuchsanordnungen naturgemäß gleich. Masse hat also nicht wirklich etwas mit Gewicht zu tun. Dort, wo keine Schwerkraft wirkt, dort hat Masse kein Gewicht. Masse hat aber auch nicht wirklich etwas mit Beschleunigung zu tun, denn für die Beschleunigung braucht man immer einen Impuls von außen. Die Vergleiche von Strukturen unter der Einwirkung der Schwerkraft oder mit Hilfe eines Energieimpulses sind also lediglich verschiedene Methoden zum Messen von Massen.

Doch, damit ist noch nicht geklärt, was Masse eigentlich ist. Von allem Konkreten abstrahiert, ist Masse das, was die Strukturen beinhalten. Insofern sind Masse und Struktur nicht voneinander zu trennen. Masse ist gewissermaßen der Inhalt der Struktur, oder die Struktur ist die Form, in der die Masse existiert. Energie begrifflich zu bestimmen, ist fast noch schwieriger. Ein guter

Ansatz scheint mir im altgriechischen Ursprung des Wortes zu liegen - einer Zusammensetzung aus "innen" und "wirken". Energie wäre demnach etwas, das aus dem Innern der Strukturen heraus Wirkungen verursacht. Das, was aus den Strukturen heraus Wirkungen verursacht, sind Bewegungen. Bewegungen sind in ihrer konkreten Form vielfältig, ihr Inhalt ist die Wirkung, die Wirkungskraft, die von der konkreten Bewegung ausgeht. Insofern sind Energie und Bewegung nicht voneinander zu trennen. Energie ist gewissermaßen die Kraft der Bewegung, oder die Bewegung ist die Form, in der sich Energie äußert.

Struktur und Bewegung sind wechselseitig identisch

Bei den Überlegungen zur Frage, was die Welt im Innersten zusammenhält, waren wir auf die Atomkerne, insbesondere auf die Protonen gestoßen. Die Atomkerne sind die grundlegenden Träger der Masse. Ihre Bausteine, die Protonen und Neutronen, bestehen aus Quarks. Quarks selbst haben keine Bausteine, sie sind reine Energie. Denkt man dies zu Ende, dann heißt das, dass alle Masse aus Energie besteht. Umgekehrt zeigen uns die Massemonster, „Schwarze Löcher“ genannt, wie alle erreichbare Energie in eine große Masse eingehen kann. Es existiert also keine starre Grenze zwischen Masse und Energie. Irgendwo ist alle Masse auch Energie und alle Energie kann zu Masse werden.

Struktur und Bewegung vernichten einander

In der Umwandlung von Energie in Masse und von Masse in Energie wird ein destruktives Moment erkennbar. Da die Umwandlung in der Regel die Rückwandelbarkeit einschließt, kann dieses destruktive Moment aufgehoben werden. Es gibt jedoch Prozesse, die den Punkt einer möglichen Revision überschritten haben. Bleiben wir noch einmal bei den „Schwarzen

Löchern“. Schwarze Löcher sind Himmelskörper, die alle erreichbare Masse und Energie in sich hineinsaugen und selbst wenig Energie abgeben. Infolgedessen wird ihre Masse und damit auch der Raum, den die Gravitationskraft dieses Monstrums erreichen kann, immer größer. Immer neue Masse und Energie kommt in den Bereich seines Sogs. Die zunehmende Stärke führt jedoch zu einer Verengung der Bewegungsräume im Innern, so dass dort die Bewegungen zwangsläufig abnehmen. Da dieser Tendenz nichts entgegenwirkt, verstärkt sie sich aus sich selbst heraus. Ihr destruktives Moment wächst. Masse vernichtet Bewegung. Auf der anderen Seite dehnt sich das Universum immerfort aus. Dabei werden Strukturen aufgelöst. Mit der Verringerung der Dichte der Strukturen verringern sich auch die Kräfte des Zusammenhalts. Die Expansion wird beschleunigt. Da dieser Tendenz nichts entgegenwirkt, verstärkt sie sich aus sich selbst heraus. Ihr destruktives Moment wächst. Energie vernichtet Struktur.

Es scheint, dass auf das Ganze gesehen einer der beiden entgegengesetzten Prozesse jeweils dominierend ist. In der jetzigen Phase der Entwicklung des Universums ist es offensichtlich die Expansion. Wahrscheinlich wird dieses Primat irgendwann auf einen Prozess der Konzentration wechseln. Die Erde wird es dann allerdings längst nicht mehr geben.

Was können wir aus diesen Gedanken unserem Wissen über dialektische Gegensätze hinzufügen?

In allen Gegensätzen gibt es ein destruktives Moment, das unter bestimmten Umständen zur Zerstörung des Gegensatzes führt. Dies geschieht insbesondere dann, wenn das Gleichgewicht der Kräfte nachhaltig gestört ist. Eine Störung dieses Gleichgewichts führt jedoch nicht sofort, quasi automatisch, zur Zerstörung des

Zusammenhangs. Zeitweise Ungleichgewichte, resultierend aus dem Primat einer Seite, gehören vielmehr zu seiner Dynamik, sie machen diese erst möglich. Die dafür notwendige Elastizität des Zusammenhangs ist jedoch begrenzt. Sollte es nicht zu einem Wechsel des Primats kommen, wird irgendwann ein kritischer Punkt erreicht, an dem eine Seite des Gegensatzes und damit der Zusammenhang selbst zerstört wird. Kommt es jedoch zu einem mehr oder weniger regelmäßigen Wechsel des Primats, dann ist ein pulsierender Prozess zu beobachten, den man als die "normale" Bewegungsform von Gegensätzen begreifen kann.

Zur Dialektik von Raum und Zeit

In einer astronomischen Beobachtungsstation hoch oben in den Anden sucht man das Universum systematisch nach auffälligen Ereignissen ab. Nehmen wir an, dabei werden eines Tages zwei Sternexplosionen in unterschiedlichen Gegenden des Weltraums registriert. Die Frage ist, ob man aus der gleichzeitigen Beobachtung der Ereignisse schließen kann, dass sie auch gleichzeitig stattgefunden haben? Eine Explosion ereignete sich in einer Entfernung von einhunderttausend Lichtjahren, die andere von fünfzigtausend Lichtjahren. Das heißt, in dem einen Fall brauchten die Strahlen, die uns von der Sternexplosion berichten, einhunderttausend Jahre bis sie unser Teleskop erreichten, in dem anderen Fall waren es fünfzigtausend Jahre. Anders gesagt, die beiden Explosionen fanden mit einem riesigen zeitlichen Abstand statt, obwohl sie auf der Erde zur gleichen Zeit beobachtet wurden.

Man stelle sich nun vor, es gäbe da noch jemanden, der Sternexplosionen beobachtet. Er befindet sich auf einem anderen Planeten, irgendwo in den Tiefen des Universums. Von dessen Standpunkt aus ist die Entfernung zur Explosion A zwar mit

der Entfernung der Erde zu dieser Explosion vergleichbar, aber seine Entfernung zur Explosion B ist um zwanzigtausend Lichtjahre größer. Er kann daher nur die Explosion A registrieren, und dies ungefähr zur gleichen Zeit wie auf der Erde. Die Strahlung von Explosion B wird auf seinem Planeten eintreffen, wenn er und seine Nachfahren vermutlich längst nicht mehr existieren. Falls er eine Nachricht zur Erde sendet, um seine Beobachtung zur Explosion A mitzuteilen, dann wird das beschriebene Ereignis für die bei der Ankunft der Nachricht lebenden Erdenbewohner in einer kaum mehr nachvollziehbaren Vorzeit gewesen sein. Die großen räumlichen Entfernungen des Alls führen alle irdischen Vorstellungen von zeitlichen Abfolgen ad absurdum.

In welchem Verhältnis stehen also Raum und Zeit zueinander?

Wir gehen in unseren Überlegungen davon aus, dass die Welt aus Strukturen und deren Bewegungen besteht, aus nichts sonst. Was sind dann aber Raum und Zeit? Die Strukturen brauchen für ihre Existenz Raum. So gesehen, ist *Raum* eine Existenzvoraussetzung der Strukturen. Damit impliziert Raum etwas, das vorhanden ist. Jede Struktur ist zudem Bestandteil einer übergeordneten Struktur, wodurch auch ihr Raum Bestandteil eines übergeordneten Raumes ist. Der Raum, den eine Pflanze einnimmt, ist Bestandteil des Raumes der Wiese, auf der sie wächst. Der Raum der Wiese ist Bestandteil des Raumes der Stadt, in dem die Wiese liegt. Der Raum der Stadt ist wiederum Bestandteil eines größeren Raumes und so weiter. Letztlich gehören alle irdischen Strukturen zum Erdenraum oder, wenn man den Bogen weiter spannen will, zu dem einen universellen Raum, dem Universum.

Auf der anderen Seite existieren Strukturen nur in Bewegung. Bewegungen sind räumliche Veränderungen in der Zeit. Man kann also sagen, *Zeit* ist die Existenzweise der Bewegungen. Sie bezieht ihren Sinn daraus, dass sich in ihrem Verlauf eine Bewegung, eine Veränderung vollzieht. Jede Bewegung hat ihre Zeit, die Bestandteil der Zeit einer übergeordneten Struktur respektive von deren Bewegung ist. Die Zeit, in der unsere Pflanze existiert, ist Bestandteil der Zeit, in der die Wiese besteht. Verschwindet die Wiese, weil eine Siedlung gebaut werden soll, dann ist auch die Zeit der Pflanze beendet. Sollte die Erde von einem großen Asteroiden getroffen werden, dann wäre wohl nicht nur die Zeit der Pflanze und der Wiese vorüber. Ein derartiges Ereignis könnte das Ende von Raum und Zeit unseres Planeten mit allem, was darauf ist, bedeuten. Raum und Zeit sind also immer konkret, mit bestimmten Strukturen und deren Bewegungen verbunden.

Wie entstehen Raum und Zeit? Raum und Zeit entstehen mit den Strukturen. Aus einem Keim wächst eine Pflanze. Dazu sind Wasser, Luft, Minerale und vor allem Energie erforderlich. Mit ihrem Wachstum dehnt sich die Struktur "Pflanze" aus, sie erobert Raum. Sie schafft sich Raum. Dann wird es Herbst, die Energie der Sonne sprudelt nicht mehr im Überfluss. Der Pflanze gehen die Lebensgrundlagen aus, sie verwelkt. Ihre Zeit neigt sich dem Ende entgegen. Sie stirbt ab. Der Raum, den sie einnahm, existiert zwar noch in Form der Wiese, als Raum der Pflanze ist er jedoch mit der Pflanze vergangen. Anders gesagt, die Pflanze schafft sich in der Zeit des Werdens ihren Raum, der mit ihrem Vergehen wieder verschwindet. Was für unsere Pflanze gilt, gilt für alle Strukturen.

Wenn sich eine Struktur durch ihre Bewegung Raum schafft, dann muss auch die Umkehrung gelten, das heißt, dort, wo sie sich

nicht bewegt, dort ist *für sie* kein Raum. Führt man einem Gas Energie zu, dann intensiviert sich die Bewegung seiner Moleküle. Das Gas dehnt sich aus, es schafft sich Raum. Man könnte einwenden, dass dieser Raum auch vorher vorhanden war, nur nicht mit dem Gas befüllt. Aber, genau das ist der Punkt. Für das Gas gibt es nur den Raum, in dem es sich bewegt, was man auch daran erkennt, dass es nur mit Stoffen, die in diesem Raum vorhanden sind, reagieren kann. Stoffe, die außerhalb seines Bewegungsraums sind, tangieren unser Gas nicht, führen zu keinerlei Reaktion. Was für unser Gas gilt, gilt für alle Strukturen.

Genauso, wie es keine Struktur ohne Bewegung gibt und wie keine Bewegung ohne eine Struktur, die sich bewegt, existieren kann, genauso gibt es keinen Raum ohne Strukturen, die sich bewegen und keine Zeit ohne Veränderungen. Aus diesem Grund sind weder ein absolutes Vakuum (Strukturlosigkeit eines Raumes) noch der absolute Nullpunkt (Bewegungslosigkeit einer Struktur) herstellbar beziehungsweise erreichbar.

Obgleich jeder Raum und jede Zeit durch die Strukturen, mit denen sie verbunden sind, konkret bestimmt ist, sind sie doch auch Teil des Universums und damit Teil des universellen Raums und der universellen Zeit. Dieses Universum ist nach einer weithin akzeptierten Theorie aus einem Urknall hervorgegangen, mit dem sich ein unglaublich komprimierter Masseklumpen in ein Meer chaotischer Energiepartikel verwandelte. Der Raum, den der Masseklumpen eingenommen hatte, war vergleichsweise klein. Mit dem Urknall dehnte er sich schlagartig aus; außerdem setzte ein Expansionsprozess ein, der zu einer permanenten Vergrößerung des Raums, in dem sich die Energiepartikel bewegten, führte. Dadurch verringerte sich die Wahrscheinlichkeit von Kollisionen, so dass größere Strukturen entstehen und sich behaupten konnten. Ein Universum aus

Galaxien, Sonnensystemen und vielen anderen Teilen entstand. Da die zum Universum gehörenden Strukturen in Bewegung waren und sind, generieren sie Kräfte, die in ihrer Gesamtheit ein Wirkungsgefüge begründen, das sich mit dem Universum ausbreitet und verändert. Mit anderen Worten, nicht Kräfte breiten sich aus, sondern es ist das Universum, das mit den ihnen immanenten Bewegungen und Kräften entsteht, sich ausbreitet, verändert und irgendwann untergeht.

Für alle Strukturen gilt, dass die Veränderung eines Bestandteils Auswirkungen auf die anderen Bestandteile wie auch auf die Struktur als Ganzes hat. Da dieses Ganze wiederum Teil einer größeren Struktur ist, ist auch diese, mit allen ihren Bestandteilen, betroffen. Resultat ist eine Kaskade von Anpassungsprozessen, die, da sie Veränderungen beinhalten, jeweils weitere Anpassungen nach sich ziehen. Wenn wir eine Veränderung in einer Struktur registrieren, beobachten wir demnach nicht die Veränderung der in ihr wirkenden Kräfte, sondern die Reaktion respektive Anpassung der betroffenen Strukturteile auf ein sich veränderndes Wirkungsgefüge. Vielleicht wird dieser Gedanke durch das folgende Beispiel etwas deutlicher. Wenn man Massen wiegt, dann bestimmt man mit dem Gewicht nicht dessen Ursache, die Gravitationskraft, sondern man vergleicht die unterschiedlichen Reaktionen der verschiedenen Massen auf die als gleichbleibend angenommene Kraft. Wenn man das Gewicht von ein und derselben Masse am Äquator und am Pol misst, dann sind die Unterschiede im Gewicht zwar auf Unterschiede in der Wirkungskraft der Gravitation zurückzuführen, mit der Messung bestimmt man jedoch auch hier nicht diesen Unterschied, sondern man vergleicht die Reaktion einer bestimmten Masse am Pol mit der am Äquator. Führt man diesen Gedanken fort, dann gilt auch für die im Universum

beobachteten "Gravitationswellen", dass man mit ihnen nicht die Veränderung einer Kraft registriert, sondern die Auswirkungen, die eine Veränderung im Wirkungsgefüge des Universums auf die Erde oder ein anderes Objekt im Universum hat.

Sind unsere Überlegungen zum Verhältnis von Raum und Zeit auch für profane irdische Ereignisse von Bedeutung? Wenn man Blitze beobachtet, die zwei Kilometer entfernt niedergehen, dann hört man den dazugehörenden Donner mit einer zeitlichen Verzögerung, denn der Schall des Donners braucht etwas länger, bis er den Beobachter erreicht. Aus der zeitlichen Differenz beider Beobachtungen kann man die Entfernung des Gewitters abschätzen. Dass auch das Licht des Blitzes etwas Zeit benötigt, um zum Beobachter zu gelangen, wird vernachlässigt, da die entstehende Abweichung äußerst gering und ohne Einfluss auf die Schätzung wäre. Genau genommen ist jedoch nicht einmal der Beobachter vor Ort Teil des Geschehens. Will er eine absolut genaue Bestimmung des Ereignisses, hier des Blitzschlags, vornehmen, müsste er die räumliche Distanz und damit die zeitliche Abweichung zwischen dem Ereignis und seiner Beobachtung berücksichtigen, selbst wenn sie äußerst gering ausfallen würde. Auf der Erde gilt demnach, genauso wie im Universum, dass die Ereignisse und deren Beobachtung in jedem Fall räumlich und zeitlich auseinanderfallen. Im Alltag kann man diesen Aspekt meist vernachlässigen, zumindest, wenn das äußerst schnelle Licht als Träger der Nachricht dient.

Im Makrokosmos sieht das anders aus, wie das Beispiel über die Beobachtung einer Sternexplosion zeigte. Dort sind, bedingt durch die großen räumlichen Distanzen, das Ereignis und seine Beobachtung klar voneinander abgegrenzt. Sie bedingen zwar einander, denn ohne Ereignis gäbe es keine Beobachtung, doch beide fallen in Größenordnungen auseinander. Im Mikrokosmos

tun sich ebenfalls Probleme auf, denn die Strukturen sind außerordentlich klein und in kaum vorstellbaren Geschwindigkeiten unterwegs. Das hat unter anderem zur Folge, dass sich die Position und die Geschwindigkeit eines Elektrons nicht gleichzeitig exakt bestimmen lassen. Ebenso lässt sich der Abstand zweier Teilchen zueinander nicht ermitteln, da durch deren Dynamik jede Messung bereits im selben Augenblick hinfällig wäre. Halten wir also fest, weder im Mikrokosmos noch im Makrokosmos kann man die Lage von Strukturen im Raum oder ihre Geschwindigkeit, das heißt ihre Bewegung in der Zeit, unmittelbar bestimmen. Ein derartiger Versuch ist immer durch die räumliche und damit zeitliche Distanz des Beobachters zum Ereignis beeinflusst beziehungsweise begrenzt.

Entfaltung eines Widerspruchs

Bisher haben wir Widersprüche meist als Momentaufnahme betrachtet beziehungsweise untersucht. Ein Widerspruch wird jedoch von inneren Wechselwirkungen wie auch durch äußere Faktoren beeinflusst, so dass er Veränderungen beziehungsweise einer Entwicklung unterliegt. In diesem Zusammenhang wird oft von Entfaltung des Widerspruchs gesprochen, wohl auch, weil der Begriff "Entwicklung" durch unterschiedlichen Gebrauch recht unspezifisch geworden ist. Der Ausdruck "Entfaltung" besitzt noch eine gewisse Anschaulichkeit, man kann ihn zum Beispiel mit dem Aufblühen einer Blume vergleichen. Dieser Prozess startet mit der Knospe, also einem Spross der Pflanze. Die Knospe enthält bereits alles, was die Blüte einmal ausmachen wird, trotzdem lässt sie deren spätere Pracht kaum erahnen. Erst mit ihrer Entfaltung zur Blüte wird sie diese offenbaren. Im Punkt größter Entfaltung schwingt jedoch bereits das Ende mit. Der Zerfall dieses Sprosses kündigt sich an. Vielleicht ist ein Samen gezeugt worden, aus dem eine neue Pflanze keimt, die wieder Blüten

hervorbringt. Der Nachteil eines solchen Vergleichs ist, dass er Aspekte beinhaltet, die nicht ohne weiteres übertragbar sind. Das heißt, ein Vergleich kann durch seine Anschaulichkeit zwar Verständnis erzeugen, er kann die abstrakte Sicht der Dinge aber nicht ersetzen. Wir werden daher den blumigen Vergleich hinter uns lassen und uns der abstrakten Pracht eines grundlegenden Widerspruchs zuwenden.

Der Grundwiderspruch allen Seins ist nach meiner Überzeugung der Gegensatz von Struktur und Bewegung. Die erste Frage, die sich in Bezug auf die Entfaltung dieses Widerspruchs stellt, ist die nach seinem Ursprung. Ausgangspunkt allen Seins war der Urknall, mit dem ein in kaum vorstellbarer Weise komprimierter Masseklumpen auseinandergesprengt wurde und sich dabei in Energie verwandelte. Unmengen von Energiepartikeln wirbelten in chaotischer Weise durcheinander, wobei sie ständig miteinander kollidierten. Die Zusammenstöße führten meist dazu, dass die Partikel voneinander weggeschleudert wurden, einige blieben aber auch aneinander kleben. Im allgemeinen Chaos mit seinen nicht enden wollenden Kollisionen konnten diese Verbindungen nicht lange überdauern. Mit dem Urknall war allerdings nicht nur der Masseklumpen gesprengt worden, es wurde auch ein Expansionsimpuls gesetzt, in dessen Folge sich der Bewegungsraum der Energiepartikel permanent vergrößerte. Sie bekamen mehr Platz für ihre Bewegungen, was die Zahl der Kollisionen verringerte. Einmal entstandene Verbindungen konnten sich nun länger behaupten. Unzählige Atome, meist aus ein oder zwei Protonen, Elektronen und Neutronen bestehend, bildeten sich. Dadurch verringerte sich die Zahl der freien Energiepartikel, was ebenfalls zur Stabilisierung der Situation beitrug.

Die Energiepartikel, die sich in Atomen zusammenfanden, sind in unterschiedlicher Art und Weise miteinander verbunden. In den Protonen sind jeweils drei Quarks vereint. Sie sind eine unlösliche Verbindung miteinander eingegangen. In dieser Verbindung haben sie ihre Eigenschaften zugunsten des Ganzen weitgehend aufgegeben. Sie sind *fusioniert*. Das heißt, die unterschiedliche Wirkung, die von jedem einzelnen Quark ausgehen würde, ist fast vollständig in der ganzheitlichen Wirkung des Protons aufgegangen. In einem Atom sind jedoch meist mehrere Protonen vereint, die gemeinsam mit mehreren Neutronen den Atomkern bilden. Protonen und Neutronen fusionieren jedoch nicht, weder miteinander noch untereinander, sie bleiben als eigenständige Strukturbestandteile im Kern erhalten. Immerhin ergänzen sich ihre Wirkungen auf Dritte, so dass der Kern als Ganzes mit speziellen Eigenschaften in Erscheinung tritt. Mir fehlt ein Begriff für diese Art der Verbindung von mehreren sich ergänzenden Bestandteilen. Vielleicht könnte man sagen, sie bilden ein Konglomerat, sie *konglomerieren*. Das Atom besteht aber nicht nur aus dem Kern. Zum Atom gehören auch Elektronen, die das dynamische Moment der Struktur ausmachen. Zusammen mit den Protonen schaffen sie ein energetisches Gleichgewicht, das sowohl Stabilität als auch Veränderung gewährleistet. Weder Proton noch Elektron geben jedoch ihre spezifischen Eigenschaften auf. Das Proton hält mit seiner Sogwirkung das Elektron in seinem Bann, während das Elektron mit der von seiner Bewegung ausgehenden Dynamik dem Ganzen Flexibilität verleiht. Das heißt, die beiden Strukturelemente wirken nicht dadurch zusammen, dass sie sich als ähnliche Bausteine ergänzen, sondern dadurch, dass sie mit alternativen Eigenschaften ein neuartiges Ganzes bilden. Man könnte vielleicht sagen, die Teile *kooperieren* und verleihen auf diese Weise dem Ganzen eine spezifische Außenwirkung. Zu

Fusion und Konglomeration kommt die Kooperation als dritte Variante hinzu.

Die entstandenen Atome waren jedoch nicht gleichmäßig im Raum verteilt. Dort, wo sie sich häuften, entwickelte sich eine eigene Dynamik, entstanden Kräfte, die zur Formung von weitaus größeren Gebilden, von Planeten, Sternen und Galaxien führten. Während in der Entstehungsphase des Universums das Verhältnis von Struktur und Bewegung durch die Bewegung der Energiepartikel bestimmt worden war, gab es nun vielfältige Strukturen, mit denen sich ein relatives Gleichgewicht zwischen Strukturen und Bewegungen einstellte. Es war jedoch kein Massemittelpunkt entstanden, der das Ganze zusammenhalten konnte, so dass sich das Universum immer weiter ausdehnte und dies mit wachsender Geschwindigkeit. Der Preis der Ausdehnung war die Auflösung von Strukturen. Das heißt, auf das Ganze gesehen nahm die Bewegung zu, während sich die Strukturierung verringerte.

Letzteres gilt jedoch nur in quantitativer Hinsicht, denn in einigen Gegenden des Alls waren Bedingungen entstanden, die die Bildung neuartiger komplexer Strukturen begünstigten. So hatte sich auf Erden eine große Vielfalt an Stoffen gebildet. Darunter waren Nukleinsäuren, die eine besondere Bedeutung erlangen sollten. Nukleinsäuren besitzen die Fähigkeit, Schäden an ihrer Struktur mit Hilfe der Basenpaarung zu reparieren. Bei der Ribonukleinsäure kam hinzu, dass einzelne Abschnitte des Molekülverbands andere Teile abtrennen konnten. Im Zusammenspiel mit der Basenpaarung entstand damit die Möglichkeit einer Vermehrung aus eigenem Antrieb. Die Moleküle wurden jedoch durch äußere Einflüsse immer wieder zerstört. Sie brauchten einen Schutz, eine Hülle, um sich längerfristig behaupten zu können. Auch dafür fand sich eine

Lösung. Die umhüllten Moleküle, die sich aus eigenem Antrieb vermehrten und die vor Einflüssen der Umwelt weitgehend geschützt waren, verkörperten eine neue Qualität von Strukturen, die wir als „Leben“ bezeichnen. Sie eroberten sich ein Stück Unabhängigkeit von den durch die Umwelt gegebenen Zwängen.

Ein Grundproblem ihrer Fortexistenz war die Versorgung mit Energie und Nährstoffen. Wenn die Nährstoffe an dem Ort, an dem sie sich gerade befanden, zur Neige gingen, dann waren sowohl die Vermehrung als auch der eigene Fortbestand gefährdet. Manchmal mag ihnen ein Windstoß oder eine Welle geholfen haben, an einen Ort zu gelangen, an dem die Versorgung wieder gesichert war. Damit waren sie jedoch von Zufällen abhängig, ein Umstand, der einer Verstetigung des Lebens im Wege stand. Um die Abhängigkeit von Zufällen zu überwinden, mussten die Zellen in die Lage kommen, eigenständig neue Lebensräume zu erreichen, sich aus eigener Kraft fortzubewegen. Einige Arten bildeten Ausstülpungen der äußeren Hülle, mit denen sie kleine Wellen erzeugten, auf denen sie davonschweben konnten. Für die Erzeugung derartiger Wellen braucht man Energie, die jederzeit verfügbar, das heißt in der Zelle gespeichert sein muss. Nun kann man Energie nicht speichern, sie ist ein flüchtiges Moment. Genauer gesagt, freie Energie kann nicht gespeichert werden, Energie, die in Strukturen gebunden ist, schon. Die Zelle musste also energieträchtige Strukturen von außen aufnehmen oder solcherart Stoffe selbst produzieren, und sie musste in der Lage sein, die gespeicherten Energieträger bei Bedarf aufzuspalten, das heißt, die in ihnen gebundene Energie freizusetzen.

Irgendwann wurden diese Probleme gelöst, so dass die Zelle über Energiereservestoffe verfügte, die sie aufspalten und in

Bewegung umsetzen konnte. Jetzt entstand die Frage, wie sie den Zeitpunkt bestimmen sollte, an dem der Einsatz der Energieträger erfolgsversprechend sein würde. Die Hülle der Einzeller besaß bereits die Fähigkeit, nur die Stoffe, die im Innern benötigt wurden, hineinzulassen. Diese Fähigkeit musste nun mit einem Informationsprozess verbunden werden, das heißt, die Sensoren auf der äußeren Hülle mussten das Registrieren von Nahrung als Information nach Innen geben, damit die Zelle die Nahrung aufnehmen konnte. Besagte die Information, dass das Nahrungsangebot knapp wird, dann galt es Energiereserven zu mobilisieren, um zu einem anderen Platz mit neuen Chancen zu gelangen. Die Fähigkeit, Informationen aus der Umwelt aufzunehmen und in den Handlungen umzusetzen, wurde zu einem weiteren Meilenstein auf dem Weg in eine größere Unabhängigkeit von Zwängen und Zufällen.

Es folgte die große Zeit der Zellverbände, denn genau genommen, gibt es nur zwei Muster des Lebens - Einzeller und Zellverbände. Zellverbände sind dadurch gekennzeichnet, dass sich mehrere Zellen zu einem Ganzen zusammenfinden. Die Verbindungen, die die Zellen dabei eingehen, sind unterschiedlich geartet, sie lassen sich jedoch den drei grundlegenden Typen zuordnen. Die *Konglomeration* kann man vielleicht als Urform der Zellverbände bezeichnen. Die Zellen existierten von Anfang an nicht jede für sich allein, sie bildeten vielmehr Gruppen, das heißt mehr oder weniger lose Gemeinschaften. Diese Kolonien bestanden häufig nicht nur aus gleichartigen Einzellern, sie duldeten auch andere in ihrer Mitte, solange diese dem Verbund nicht schaden, ihm vielleicht sogar nützlich waren. Auf dieser Basis konnte sich eine Arbeitsteilung entwickeln, das heißt, eine Spezialisierung der am Verbund beteiligten Zellen. Die daraus erwachsende *Kooperation* der Zellen wurde zur Voraussetzung für die spätere

Herausbildung komplexer Lebewesen. Im Unterschied zu einfachen Zellverbänden, in denen jede Zelle für sich existenzfähig bleibt, stellen komplexe Lebewesen ein Ganzes dar, in dem die Zellen aufeinander angewiesen sind. Dann ist da noch die *Fusion*. Fusionen scheinen auf den ersten Blick für Zellverbände von geringer Bedeutung zu sein, doch dieser Schein trügt, denn die Zellen haben das wohl bedeutendste Existenz- und Entwicklungsproblem, die ausreichende Versorgung mit Energie, durch Fusion gelöst. In der einen Variante (Flora) nahmen sie Cyanobakterien in die Zellen auf, um auf diese Weise die Photosynthese für die eigene Energiegewinnung zu nutzen. In der anderen Variante (Fauna) wurden Bakterien in die Zellen integriert, die die Fähigkeit zur Aufnahme von Sauerstoff für die Verbrennung von Kohlenstoffen entwickelt hatten. Sind diese Annahmen richtig, dann waren es Fusionen, die die Basis für die Entfaltung des Lebens schufen.

Das herausragende Merkmal der Pflanzen als der einen großen Gruppe komplexer Lebewesen besteht darin, dass sie in der Lage sind, mit Hilfe des Sonnenlichts Stoffe zu synthetisieren, aus denen sie ihren Energiebedarf, das heißt den Energiebedarf aller am Verbund Pflanze beteiligten Zellen decken. Umgekehrt sind beinahe alle Zellen der Pflanze in der einen oder anderen Weise an der Lösung dieser Aufgabe beteiligt. Im Laufe der Evolution wurden die Pflanzen größer. Die Großen besaßen nicht nur eine höhere Anzahl von Zellen, auch die Vielfalt der Spezialisten unter ihnen nahm zu. Die spezialisierten Zellen schlossen sich mit anderen zusammen, um gemeinsam bestimmte Aufgaben für den Gesamtorganismus wahrzunehmen. Man kann diese inneren Kooperationsverbände als Organe ansehen, zu denen zum Beispiel Blätter, Blüten, Wurzeln und Triebe zählen. Die meisten dieser Organe übernehmen mehrere Aufgaben. In einem Blatt ist

nicht nur Chlorophyll für die Photosynthese vorzuhalten, auch Leitungen für die Wasserversorgung sowie Ventile für den Gasaustausch sind erforderlich. Darüber hinaus müssen die produzierten Zucker wie auch deren Vorstufen und Folgeprodukte gespeichert beziehungsweise weitergeleitet werden. Das Blatt braucht eine Schutzschicht, eine Befestigung am Pflanzenkörper und anderes mehr. Es ist als Teil der Pflanze also selbst ein komplexes Ganzes. Die Pflanze besteht jedoch aus einer Reihe solcher Organe, so dass für ihr Zusammenwirken eine Kommunikation untereinander unumgänglich ist. Pflanzen setzen für die Kommunikation vor allem Botenstoffe ein, das heißt, Stoffe, die eine spezielle Wirkung freisetzen, mit der beim Empfänger eine bestimmte Reaktion hervorgerufen wird. Der Nachteil der Botenstoffe ist, dass sich ihr Transport relativ langsam und mitunter auch wenig zielgenau vollzieht.

Schneller als Botenstoffe lässt sich Energie transportieren, zumindest, wenn sie auf speziellen Bahnen durch den Organismus geleitet wird. Diese Art der Verteilung von Informationen wurde für die Tiere charakteristisch, nicht zuletzt, weil sie für die freie Bewegung im Raum auf einen schnellen Informationsfluss angewiesen sind. Für die Weiterleitung der elektrischen Impulse bildeten sich spezielle Zellen heraus, die wir als Nervenzellen bezeichnen. Sie besitzen die Fähigkeit, sich miteinander zu verknüpfen und neuronale Netze zu bilden. Diese Netze durchziehen den gesamten Organismus, so dass Informationen schnell und planmäßig weitergegeben werden können. Dadurch werden nicht nur schnelle Bewegungen möglich, auch Verhaltensweisen, an denen mehrere Organe respektive Körpersysteme beteiligt sind, können realisiert werden. Die dafür erforderlichen Informationen werden durch Sinneszellen gewonnen und als elektrische Impulse an die mit ihnen

verknüpften neuronalen Netze geleitet. Durch die Verteilung eines Impulses über ein festgelegtes neuronales Netz wird ein ebenso vorherbestimmtes Verhalten ausgelöst. Die Strukturen dieser neuronalen Netze genauso wie die Spezifik ihrer Verknüpfungen mit Sinneszellen sind im Erbgut gespeichert. Angefangen von den Quallen, über viele andere Meeresbewohner bis hin zu Krebsen und Insekten hat die direkte Verknüpfung von bestimmten Informationen mit vorgeprägten Verhaltens- oder Bewegungsmustern unzähligen Arten das Überleben bis in unsere Tage hinein gesichert. Der wichtigste Nachteil dieses Automatismus besteht darin, dass das Verhalten nicht flexibel an die Spezifik der jeweiligen Situation angepasst werden kann.

Mit der Entwicklung der Wirbeltiere eröffneten sich neue Möglichkeiten. Der Schlüssel ihres Erfolgs war die Konzentration der Informationsverarbeitung in einem speziellen Organ, in einem Gehirn. In den Gehirnen entwickelten sich abgegrenzte, auf bestimmte Aufgaben spezialisierte Bereiche. Das Stammhirn steuert die internen Lebensprozesse, das heißt, es sorgt dafür, dass der Organismus störungsfrei funktioniert, vorausgesetzt Energieträger, Wasser und alle anderen lebenswichtigen Stoffe stehen ausreichend zur Verfügung. Ist dies nicht der Fall, wird dem Großhirn signalisiert, dass die Versorgung nunmehr oberste Priorität erlangen muss. Dazu muss sich das Tier bewegen. Die Koordinierung der für die Bewegung erforderlichen Körperteile obliegt dem Kleinhirn. Die Bewegung braucht jedoch ein Ziel, um den angestrebten Erfolg zu ermöglichen. Dazu müssen Informationen über die Umwelt nicht nur gesammelt, sondern auch bewertet werden. Außerdem ist eine Entscheidung darüber erforderlich, welche der zur Verfügung stehenden Verhaltensvarianten zum Einsatz kommen soll. Für die Bewertung

der Informationen werden Erfahrungen genutzt. Erfahrungen sind frühere Erlebnisse, die gespeichert wurden und denen, da sie mit einem Erfolg oder einem Misserfolg verbunden waren, eine Bewertung beigegeben wurde. Kann eine aktuelle Information einer Erfahrung zugeordnet werden, wird deren Bewertung zur Grundlage für die Beurteilung der aktuellen Situation und damit für die Entscheidung über das weitere Verhalten. Mit der Bewertung einer Situation entsteht jedoch auch die Frage, ob es nicht möglich ist, die äußeren Bedingungen so zu verändern, dass die Situation besser den eigenen Bedürfnissen gerecht wird. Eine derartige selbstbestimmte Veränderung der Umwelt wurde zum Charakteristikum der Gattung Mensch.

Gesetzmäßigkeiten in der Dialektik

Bei der Untersuchung von dialektischen Widersprüchen stößt man auf wiederkehrende Zusammenhänge, die man als Gesetzmäßigkeiten bezeichnen kann. Wenn man von Gesetzmäßigkeiten in der Dialektik spricht, sollte jedoch im Hinterkopf bleiben, dass es sich hier nicht um kausale Zusammenhänge nach dem Muster "wenn ... dann..." handelt. Gesetzmäßigkeiten in der Dialektik beschreiben vielmehr Spezifika im Wechselverhältnis der Seiten eines Gegensatzes. Sie sind genauso dialektisch zu begreifen, wie der Widerspruch selbst.

Dialektik von Teil und Ganzem

Aristoteles hat den Kern des Zusammenhangs von Teil und Ganzem in den Satz gekleidet, dass das Ganze mehr sei als die Summe seiner Teile. Die Beziehungen zwischen Teil und Ganzem sind jedoch vielfältiger als mit diesem Satz ausgedrückt wird. Einige Aspekte sollen kurz umrissen werden. Wir hatten schon

mehrfach konstatiert, dass die Welt aus Strukturen besteht. Die Strukturen bestehen aus Strukturelementen beziehungsweise Bausteinen. Darüber hinaus sind sie auch selbst Bausteine beziehungsweise Bestandteile von größeren, übergeordneten Strukturen. Die Strukturen der verschiedenen Ebenen haben bestimmte Eigenschaften, von ihnen gehen spezifische Wirkungen aus. Die Eigenart dieser Wirkungen hängt einerseits von der Anzahl und der Natur der Bestandteile ab und andererseits davon, welcher Art die Verbindungen zwischen den Bestandteilen sind.

Sind die Teile zu einem Ganzen fusioniert, dann haben sie ihre eigenständige Wirkung zugunsten der Wirkung des Ganzen fast völlig aufgegeben. Das Teil ist im Ganzen kaum mehr erkennbar. Die Eigenarten der Quarks sind in der Wirkung der Protonen kaum mehr auszumachen. Auch die Mitochondrien in tierischen Zellen lassen nur noch vermuten, dass sie ein Überbleibsel aus der Einverleibung eigenständiger Einzeller sind. Ein Ganzes kann aber auch aus Teilen bestehen, die ihre Eigenständigkeit weitgehend behalten haben und nur einen relativ losen Verbund bilden. Wasser ist ein derartiger Verbund. Die prägenden Teile dieses Verbunds sind die Wassermoleküle. Es können jedoch auch andere Stoffe in den Verbund integriert sein. Jeder dieser Stoffe behält seine Eigenart und trotzdem werden die Art und der Anteil der Beimengungen die Eigenschaften des Wassers als Ganzes beeinflussen. Wasser, in dem eine größere Menge Salz gelöst ist, gefriert bei tieferen Temperaturen als Wasser mit einem geringen Salzgehalt. Da die Bestandteile des Verbunds weitgehend eigenständig bleiben, ist es möglich, dieses *Konglomerat* wieder aufzulösen. Wasser kann man destillieren und so die Beimengungen entfernen. Bei der dritten Variante sind die Bestandteile zwar ebenfalls ihrem Wesen nach unterschiedlich, ja

gegensätzlich, sie wirken jedoch im Verbund derart zusammen, dass ein neuartiges Ganzes entsteht. Protonen und Elektronen bilden ein derartiges *kooperatives* Gefüge. Nur gemeinsam bilden sie das qualitativ neue Ganze, das Atom, wobei sie auch allein existenzfähig wären. Ähnliches ließe sich über viele chemische Verbindungen sagen.

Das durch seine Bestandteile und deren Verbindungen geprägte Ganze ist wiederum Teil einer übergeordneten Struktur, die ihrerseits auf unser Ganzes zurückwirkt. Nehmen wir zur Abwechslung ein etwas anders geartetes Beispiel, in dem Wasser trotzdem eine Rolle spielt. Es soll sich in einem Gefäß befinden, das in einem Wohnhaus steht. Für das Wasser ist das Haus eine übergeordnete Struktur. Es hat allerdings so gut wie keinen Einfluss auf das Sein des Hauses. Selbst, wenn es auslief, würde das Haus davon kaum Schaden nehmen. Bräche ein Feuer aus, würde das Wasser wahrscheinlich verdunsten und als Gas das Weite suchen. Das Wasser selbst hätte wegen seiner geringen Menge kaum Einfluss auf den Verlauf des Brandes. Veränderungen in der übergeordneten Struktur haben also in der Regel erhebliche Auswirkungen auf die Bestandteile, während der Einfluss einzelner Bestandteile auf Prozesse in der Gesamtstruktur meistens gering ist. Ein anderes Bild würde sich ergeben, wenn viele Gefäße, gefüllt mit Wasser, im Haus verteilt wären, dann hätten sie unter Umständen die Ausbreitung des Feuers verhindert. Noch anders wäre die Situation, wenn statt Wasser Benzin in den Gefäßen wäre, dann würde nach einem Brand wohl nicht viel übrigbleiben. Das heißt, nicht nur die Menge der Teile, sondern auch deren Eigenschaften sind bei Prozessen, die das Ganze betreffen, von Bedeutung.

Das Benzin ist nicht nur Teil der übergeordneten Struktur, also des Hauses, es ist selbst ebenfalls ein Ganzes, das aus Molekülen

besteht, die dessen Eigenschaften bestimmen. Benzin ist ein Gemisch aus rund 150 verschiedenen Kohlenwasserstoffen, das außerdem Beimengungen enthalten kann. Die Zusammensetzung des Benzins hat Auswirkungen auf seine Eigenschaften, darunter auch auf sein Verhalten im Falle eines Brandes. Damit nicht genug, die dem Haus übergeordneten Strukturen können ebenfalls Einfluss nehmen. Unser Haus könnte zum Beispiel durch einen Blitz in Brand gesetzt worden sein, der dann durch einen Regenguss wieder gelöscht wurde. Letztlich ist alles Teil eines Ganzen, wobei es selbst aus Teilen besteht, weshalb alles mit allem irgendwie zusammenhängt.

Doch, wie ist das mit den kleinsten Teilen und dem größten Ganzen? Das größte Ganze, das Universum, gehört, soweit wir wissen, zu keiner übergeordneten Struktur und die kleinsten Teile, die Energiepartikel, sind nicht aus noch kleineren zusammengesetzt. Universum und Energiepartikel kann man demnach als Pole eines Gegensatzes ansehen. Auf der einen Seite bedingen sie einander, denn ohne Universum gäbe es keine Energiepartikel und ohne Energiepartikel kein Universum, auf der anderen Seite sind sie grundverschieden, denn das Universum besteht aus unendlich vielen Teilen, während die Energiepartikel zu unendlich vielen Strukturen gehören. Nach den Überzeugungen der Dialektik muss es trotzdem Aspekte geben, in denen sie identische Züge aufweisen. Die kleinsten Bausteine, die Energiepartikel, besitzen keine Struktur in Form kleinerer Bausteine, trotzdem können sie unterschiedliche Eigenschaften zeigen. Ihre Unterschiedlichkeit resultiert aus der Form und der Intensität ihrer Bewegungen. Für die größte Struktur, das Universum, ist seine Expansion charakteristisch. Von den Himmelskörpern gehen jedoch Gravitationskräfte aus, die, da sie nicht gleichmäßig im Universum verteilt sind, nicht überall mit

gleicher Stärke wirken. In Konsequenz dessen kann sich die Expansion des Universums auch nicht überall mit gleicher Geschwindigkeit vollziehen. Das heißt, die Ausdehnung hat eine spezifische Form, die durch die Verteilung der sie behindernden Kräfte bestimmt ist. Form und Intensität der Bewegung sind demnach Merkmale, die sowohl die kleinsten Teile wie auch das größte Ganze charakterisieren. In diesem Aspekt sind sie identisch.

Quantität und Qualität

In der Dialektik von Teil und Ganzem spielte das Verhältnis von Quantität und Qualität bereits eine Rolle, denn die Qualität eines Ganzen hängt maßgeblich von der Menge und von den Eigenschaften der in ihm versammelten Teile ab. Beginnen wir die Betrachtung wieder mit dem quantitativen Aspekt. Die Bestandteile eines Atoms (Proton, Elektron, Neutron) sind in allen Atomen gleich. Das gilt ebenso für die Art der Beziehung, in der die Teile zueinander stehen. Das Proton stellt eine Fusion von Quarks dar, mehrere Protonen und Neutronen bilden das Konglomerat des Kerns, Elektronen und Protonen bilden ein kooperatives Gefüge. Trotz dieser Gleichheit weisen die Atome je nach der Anzahl der in ihnen versammelten Teile unterschiedliche physikalische und chemische Eigenschaften auf. Sie wirken unterschiedlich auf ihre Umwelt und sie sind in unterschiedlichem Maß für Wirkungen von außen empfänglich. Atome, die nach der Zahl ihrer Protonen unterschieden werden, bezeichnet man als Elemente. Von den Elementen wissen wir, dass sich ihre Eigenschaften nicht fortlaufend mit der Menge der versammelten Protonen ändern, eher ist eine gewisse Periodizität ihrer Eigenschaften zu erkennen. Auf der einen Seite ändern sich die Eigenschaften des Atoms mit jedem Proton, das hinzukommt, auf der anderen Seite treten ursprüngliche Eigenschaften bei einer

bestimmten Quantität zusätzlicher Protonen neuerlich hervor. Sie können in den Zwischenstufen also nicht verschwunden gewesen sein, sie wurden aber von anderen Faktoren des Wirkungsgefüges dominiert. Die Abfolge der dominanten Faktoren spiegelt sich in der beobachteten Periodizität der Eigenschaften wider.

Die Qualität eines Ganzen hängt aber nicht nur von der Quantität seiner Teile ab, auch die Eigenschaften der Teile spielen eine Rolle. In einfachen Strukturen, wie den Atomen, sind die Teile immer gleich, weshalb deren Qualität kein Faktor der Diversifizierung ist. In größeren respektive komplexeren Strukturen können sich jedoch ganz unterschiedliche Teile zu einem Ganzen gefunden haben, so dass die konkrete Zusammensetzung dessen Eigenschaften beeinflusst. Schon ein Verbund mehrerer Atome, Molekül genannt, kann sehr unterschiedlich sein. Die Qualität des jeweiligen Moleküls hängt dabei sowohl von der Anzahl der Atome, die sich verbinden, als auch von deren Eigenschaften ab. In noch komplexeren Strukturen, in denen eine Vielzahl von Teilen mit unterschiedlichen Eigenschaften vereint ist, spielt auch die Art und Weise, wie sich diese verbinden, eine Rolle. Mit anderen Worten, die Komplexität einer Struktur hat Einfluss auf das in ihr herrschende Verhältnis von Quantität und Qualität. Der direkte Zusammenhang, den wir bei den Atomen und ihren Eigenschaften sehen, wird in komplexeren Strukturen durch eine Vielzahl wechselseitiger Einflüsse überlagert.

Schauen wir in diesem Zusammenhang noch einmal kurz auf die Entstehung des Lebens. Damit sich erste Zellen bilden konnten, musste eine relativ große Menge (Quantität) komplexer Moleküle, die sich durch besondere Eigenschaften (Qualität) auszeichneten, vorhanden sein. Die Erfüllung dieser Voraussetzung hätte jedoch nicht zwangsläufig zur Entstehung

von Leben geführt. Weitere Bedingungen mussten hinzukommen, um diese Entwicklung zu ermöglichen. Der ursprünglich direkte Zusammenhang von Quantität und Qualität, wie wir ihn bei der Reihung der Elemente sahen, wird hier durch die Vielzahl der Einflussfaktoren relativiert. In der Entfaltung des Lebens wird noch ein weiterer Aspekt des Verhältnisses von Quantität und Qualität deutlich. Die entstandenen Einzeller breiteten sich nämlich in großer Artenvielfalt aus. Die von ihnen hervorgebrachte Quantität (viele Einzeller) hatte also einen mengenmäßigen (Anzahl) aber auch einen qualitativen Aspekt (Artenvielfalt). Ihre Vermehrung war darüber hinaus Voraussetzung dafür, dass sich neue Fähigkeiten, wie die eigenständige Bewegung oder die vielfältige Wahrnehmung der Außenwelt, entwickeln konnten. Diese Fähigkeiten trugen ihrerseits zur Diversifizierung der Arten bei. Gleichzeitig fanden sich Einzeller zu Verbänden zusammen, in denen eine Arbeitsteilung entstand. Diese Verbände wurden zu Brutstätten mehrzelliger Wesen, die viele Errungenschaften der Einzeller übernahmen. Als Ganzes stellen sie jedoch etwas qualitativ Neues dar, das wir als Organismus bezeichnen. Mit anderen Worten, jede quantitative Entwicklung hat auch einen qualitativen Aspekt und jede qualitative Entwicklung weist quantitative Züge auf.

Führt jede zusätzliche Quantität zu einer neuen Qualität des Ganzen und kann diese Anhäufung unendlich fortgesetzt werden? Diese Frage führt zu einem weiteren Aspekt im Verhältnis von Quantität und Qualität, dem *Maß*. Entzieht man Wasser Energie, dann nimmt die Quantität der Bewegungen seiner Bestandteile ab. Die Struktur des Wassers bleibt durch diesen Eingriff weitgehend unverändert. Setzt man den Entzug von Energie jedoch fort, dann wird irgendwann ein Punkt (*Maß*) erreicht, an dem es sich in einer neuen Struktur organisiert.

Wasser gefriert und wird zu Eis. Die Anhäufung oder wie in unserem Beispiel der Abzug von Quantitäten (Kontinuität) führt an einem bestimmten Punkt zu einer neuen Qualität (Diskontinuität). Ein weiterer Entzug von Energie wird keine weitere Veränderung in der Struktur bewirken. Führt man dem Eis allerdings wieder Energie zu, dann wird es erneut zu Wasser, das irgendwann, weitere Energiezufuhr vorausgesetzt, als Dampf das Weite sucht. Mit anderen Worten, ist bei der Anhäufung oder dem Abzug von Quantitäten ein bestimmtes Maß erreicht, verändert sich die Qualität der betroffenen Struktur. Sie wird stabiler respektive unbeweglicher, wie beim Eis, oder sie wird zerstört, so dass die Teile als Dampf entweichen.

Zufall und Notwendigkeit

Nach dem Urknall bildeten sich Atome mit einem, zwei oder auch drei Protonen. Aus ihnen entstanden Himmelskörper, von denen einige Bedingungen aufwiesen, die die Bildung von Atomen mit einer größeren Anzahl von Protonen ermöglichten. Der Feststellung, dass die Entstehung größerer Elemente unter bestimmten Bedingungen als gesetzmäßig betrachtet werden kann, wird wahrscheinlich niemand widersprechen. Die Behauptung, dass die Entstehung des Lebens bei entsprechenden Bedingungen ebenfalls als gesetzmäßig anzusehen ist, würde dagegen kaum unwidersprochen bleiben. Einmal abgesehen davon, dass wir noch nicht alle Schritte auf dem Weg zur Entstehung des Lebens ausreichend erklären können, ist jedoch bereits erkennbar, dass eine Vielzahl von Faktoren an diesem Prozess beteiligt war. Jeder einzelne Schritt dahin wird wahrscheinlich irgendwann auf konkrete Faktoren zurückgeführt werden können. Je mehr solcher Schritte und die sie bewirkenden Faktoren herausgearbeitet werden, umso mehr verlieren sich die erkannten kausalen Zusammenhänge jedoch in einem Meer von

Einflussfaktoren. Das heißt, jeder einzelne Schritt basiert auf Wirkung und Anpassung, mithin auf Notwendigkeit. Müssen jedoch viele Wirkungen und Wirkungsketten in konkreten Räumen und in spezifischen Zeitabfolgen zusammenkommen, um ein bestimmtes Ergebnis hervorzubringen, dann geht die kausale Determiniertheit im Zufall, dass tatsächlich alle diese Faktoren in Raum und Zeit zusammentreffen, unter.

Wichtig ist zu verstehen, dass man die wirklichen Zusammenhänge nicht in Zufälle und Notwendigkeiten unterteilen kann. Die Wirklichkeit liegt in der Bandbreite dazwischen. Zusammenhänge, die sich mit hundertprozentiger Wahrscheinlichkeit realisieren, sind ebenso unwirklich, wie Zusammenhänge die eine nullprozentige Chance auf Realisierung haben. Letztere wären schon per Definition keine Zusammenhänge, erstere würden voraussetzen, dass sie außerhalb aller Einflüsse von Dritten, also von übergeordneten Strukturen oder von eigenen Bausteinen, existierten, was schlicht nicht möglich ist. Die Aufgabe kann also nicht darin bestehen, zwischen Zufall und Notwendigkeit zu unterscheiden, sondern nur darin, die Wahrscheinlichkeit, mit der sich ein beschriebener Zusammenhang realisiert, möglichst genau zu bestimmen. Zusammenhänge, die eine hohe Wahrscheinlichkeit der Realisierung haben, lassen sich eher zielgerichtet beeinflussen als andere. Je mehr Faktoren einen Prozess beeinflussen, desto schwieriger wird es, diesen planvoll zu gestalten.

Negation der Negation

Die Negation der Negation beschreibt einen weiteren Aspekt in der Bewegung der Widersprüche. Sie spielt auch in der Mathematik eine Rolle, denn diese lehrt, plus mal minus ist minus und minus mal minus ist plus. Die Negation eines bestimmten

Pluswerts ergibt dessen Minuswert, wird dieser Minuswert negiert, lebt der Pluswert wieder auf. Die quantitativen Größen bleiben bei diesen Operationen erhalten, sie erfahren jedoch eine andere, eine jeweils entgegengesetzte Bewertung. Da sich die Mathematik mit der quantitativen Seite von Zusammenhängen beschäftigt, ist diese Sicht völlig ausreichend. Schaut man auf die qualitative Seite, werden weitere Aspekte deutlich. Nehmen wir noch einmal das Wasser. Wird einer Wasserpflanze Energie in Form von Sonnenlicht zugeführt, verstärkt sich die Bewegung der Moleküle. Irgendwann werden sie als Wasserdampf, mithin als Gas, entweichen. Der flüssige Zustand wird negiert. Steigt der Wasserdampf in höhere Schichten der Atmosphäre auf, wird den Molekülen, da es dort kalt ist, Energie entzogen. Es bilden sich Wolken, bis es irgendwann regnet und neue Pflanzchen entstehen. Negation der Negation. Ist eine dieser neuen Pflanzchen mit der alten identisch? Offensichtlich nicht. Weder die Menge der Wassermoleküle noch die Menge oder die Art fremder Beimengungen in der neuen Pflanze entsprechen dem Vorgänger. Das heißt, die Negation der Negation stellt zwar den ursprünglichen Zustand wieder her, die dabei entstehenden Strukturen sind jedoch nicht mit den Ausgangsstrukturen identisch, sie haben im Verlauf der Wandlungsprozesse Veränderungen erfahren.

Ein Gegensatz besteht aus zwei sich ausschließende Seiten, Pole oder Aspekte. In unserem Beispiel ging es um den Gegensatz von Struktur (Eis, Wasser, Dampf) einerseits und Bewegung (Energie) andererseits. Wird dem Wasser Energie entzogen, geht seine Struktur in ein relativ starres Kristallgitter über. Im Verhältnis von Struktur und Bewegung ist nun die Struktur dominant, die Bewegungen sind eingeschränkt. Wird dem Wasser Energie zugeführt entsteht Wasserdampf, der keine erkennbare Struktur

aufweist, die Bewegungen seiner Teile bestimmen sein Wesen. Genau genommen, ist also der Dampf die vollständige Negation des Eises.

Die Dominanz einer Seite des Gegensatzes wird als Primat bezeichnet. Insofern ist der Übergang vom Eis zum Dampf ein Wechsel vom Primat der Struktur hin zum Primat der Bewegung. Bei der Umkehrung des Prozesses, wenn Dampf zu Eis wird, wechselt das Primat von der Bewegung wieder zur Struktur. Ein mehr oder weniger regelmäßiger Wechsel des Primats wird als die „normale“ Bewegungsform eines Widerspruchs angesehen. Er begründet dessen pulsierenden Charakter. Zwischen den Polen Eis und Dampf gibt es jedoch Übergänge, die im wahrsten Sinne des Wortes fließend sind. Will man einen Widerspruch erfassen, muss man also sowohl die Pole und deren Ausschließlichkeit als auch die Übergänge untersuchen.

Bei der Betrachtung des Wechselverhältnisses von Quantität und Qualität hatten wir festgestellt, dass auch die Komplexität eines Gegensatzes dessen Bewegung beeinflusst. Wenn in der Mathematik "+ 6" bedeutet, dass sechs Dinge hinzukommen, dann drückt "-6" aus, dass sechs Dinge weggenommen werden. Es gilt entweder das eine oder das andere. Zwischenschritte im Sinne eines sukzessiven Veränderungsprozesses sind nicht angezeigt. Anders sah es aus, als wir das Verhältnis von Struktur und Bewegung in Bezug auf die Aggregatzustände des Wassers betrachteten. Dort war die Menge der zugeführten oder abgezogenen Energie ausschlaggebend für den jeweiligen Zustand, weshalb die Negation als Prozess mit Übergängen erscheint. Dieser Prozess wird beim Wasser von relativ wenigen Faktoren beeinflusst, so dass die Vielfalt der Übergänge überschaubar bleibt. In den meisten Fällen reicht die Messung der Temperatur aus, um zu erfahren, ob der Zustand des Wassers

eher der stabilen Struktur des Eises oder dem des chaotischen Dampfes zuneigt.

Je mehr unterschiedliche Teile zu einem Ganzen gehören, desto vielgestaltiger werden die Zusammenhänge in diesem Ganzen. Das hat zur Folge, dass in komplexen Erscheinungen wie dem globalen Wettergeschehen einzelne kausale Zusammenhänge in einem Meer von Faktoren aufgehoben sind. Die einzelnen Notwendigkeiten werden im Gesamtzusammenhang zu Wahrscheinlichkeiten. Vorhersagen über Veränderungen der Wetterlage beinhalten schon deshalb erhebliche Unsicherheiten. Das gilt in noch höherem Maß für Vorhersagen zu gesellschaftlichen Entwicklungen. Die Vielzahl der hier wirkenden Faktoren lässt einen Umschwung trotz einer vielleicht schon erkennbaren Notwendigkeit nicht selten als zufällig erscheinen. Selbst in der Rückschau ist der genaue Punkt qualitativer Umbrüche oft nur schwer zu bestimmen, da die Negation die vorangegangene Entwicklung nicht auslöscht. Die Errungenschaften der vorangegangenen Periode werden nicht "abgeschafft", sondern unter dem neuen Primat weiterentwickelt.

Dialektik als Methode des Denkens

Von den Bewegungen der Strukturen gehen Wirkungen aus, die bei anderen Strukturen zu Reaktionen führen. Diesen Zusammenhang, den Zusammenhang von Wirkung und Reaktion, kann man als Urform aller Informationsprozesse ansehen. Informationsprozesse bei Pflanzen und einfachen Tieren sind dadurch gekennzeichnet, dass eine bestimmte Wahrnehmung, die aus einer äußeren Wirkung auf eine Sensorzelle resultiert, eine im Erbgut vorgeprägte Reaktion der Lebewesen auslöst. Der hier erkennbare Zusammenhang von äußerer Wirkung und

vorherbestimmter Reaktion unterscheidet sich nur wenig von den Informationsprozessen in der unbelebten Natur. Ein wichtiger Unterschied besteht darin, dass Lebewesen gleichzeitig verschiedene Wirkungen wahrnehmen können und auf diese auch in differenzierter Weise reagieren.

Im Laufe der Evolution entwickelten sich die Sensorzellen zu komplexen Sinnesorganen, mit denen eine Vielzahl von Informationen gewonnen werden kann. Bei den Tieren kam hinzu, dass sich auch die Palette möglicher Reaktionen immens vergrößerte, so dass eine Entscheidung darüber notwendig wurde, welche der in Frage kommenden Reaktionen Einsatz finden sollte. Für eine solche Entscheidung mussten die gewonnenen Informationen nach Prioritäten geordnet, mithin bewertet werden. Als Maßstab der Bewertung kamen frühere Erlebnisse in Frage, da sie durch einen mehr oder weniger großen Erfolg gekennzeichnet waren. Damit die Bewertung einer Erfahrung auf eine aktuelle Situation übertragen werden kann, muss sie ihr zugeordnet werden. Jede Situation ist jedoch durch viele, teilweise sehr spezielle Details charakterisiert. Müsste sich die Zuordnung einer Erfahrung zu einer aktuellen Situation auf der Basis der Identität aller Merkmale vollziehen, wären kaum Treffer zu landen. Treffer sind möglich, wenn man sich bei der Zuordnung auf wesentliche Faktoren konzentriert. Die Konzentration auf Wesentliches sowie die Verknüpfung früherer und aktueller Informationen, also *Abstraktion* und *Kombination*, wurden daher die grundlegenden Methoden bei der Verarbeitung von Informationen. Sie wurden zu Methoden des Denkens, die ihrerseits voraussetzten, dass Erfahrungen gespeichert wurden. Das heißt, die Entstehung von Entscheidungsprozessen und die Entwicklung des Gedächtnisses sind eng miteinander verbunden. Das Denken wurde darüber hinaus durch das Erkennen kausaler

Zusammenhänge geprägt. Ein bestimmter Geruch gehörte zu einem bestimmten Tier. Diese Erfahrung ließ den Schluss zu, dass, wenn man diesen Geruch wahrnahm, dieses Tier nicht weit sein konnte. Man konnte es vielleicht erbeuten. Die Tiere haben sich im Laufe der Zeit viele derartige Zusammenhänge erschlossen, deren *Logik* durch die Verknüpfung der entsprechenden neuronalen Netze bewahrt wird.

Die meisten Tiere leben in kleineren oder größeren Gruppen. Selbst Einzelgänger müssen manchmal zusammenkommen, und sei es nur um der Fortpflanzung willen. Für das Zusammenleben oder Zusammenkommen ist eine wie auch immer geartete Kommunikation erforderlich. Tiere nutzen Düfte, Laute, Bewegungen und Berührungen, um sich zu verständigen, das heißt auf Nahrung hinzuweisen oder vor Gefahren zu warnen, um Paarungsbereitschaft zu signalisieren oder auch nur, um das eigene Revier abzugrenzen. Aus der Kommunikation mit Lauten wurde in den Gemeinschaften der Menschen die Sprache. Ihre Besonderheit besteht darin, dass nicht ein Laut eine genau definierte Tatsache bezeichnet, sondern dass Lautverbindungen, mithin Wörter, gebildet werden. Die Wörter machen eine Vielfalt an unterschiedlichen Bezeichnungen möglich. Gleichzeitig heben sie auf übergeordnete Merkmale der Dinge, Situationen oder Geschehnisse ab. Letzteres wurde notwendig, da sich die Kenntnisse über die Natur wie auch über das Zusammenleben in der Gemeinschaft vervielfachten, wodurch nicht mehr alles und jedes und dies in jeder möglichen Ausprägung durch eigene Wörter benannt werden konnte. Wenn die schottische Sprache heute 421 Wörter für Schnee kennt, dann ist dies als Ausnahme zu werten, die die Regel bestätigt. Man stelle sich vor, für alles und jedes gäbe es derart ins Detail gehende Bezeichnungen, der daraus resultierende Wortschatz wäre kaum zu beherrschen. Die

abstrahierenden Wörter bewährten sich zudem als hinreichend genau. Sie ermöglichten eine schnelle Weitergabe von Mitteilungen und Anweisungen, was durchaus überlebenswichtig sein konnte. Manchmal reicht die verkürzte Information jedoch nicht aus, um Sachverhalte richtig zu verstehen oder Dinge eindeutig voneinander abzugrenzen. Dann müssen mehrere Wörter miteinander kombiniert werden, um eine ausreichende Beschreibung zu erhalten. Abstraktion und Kombination wurden damit zur Basis der menschlichen Sprache.

Abstraktion ist das Abheben auf gemeinsame respektive charakteristische Merkmale der Dinge und Erscheinungen. Zum Erfassen von charakteristischen Merkmalen muss man sich ihrem Wesen nähern. Mit dieser Fähigkeit ausgestattet wurde es den Menschen möglich, wiederkehrende, mithin gesetzmäßige Zusammenhänge in der Natur und im Leben der Gemeinschaft zu erkennen. Das so gewonnene *Wissen* ließ sich wiederum für die Bewertung von gemachten Beobachtungen nutzen. Im Unterschied zu den Erfahrungen, die aus konkreten Situationen erwachsen und daher nur bei vergleichbaren Bedingungen eingesetzt werden können, ist das Wissen durch seine abstrakte Form auf eine breite Palette von Situationen anwendbar. Mit der Abstraktion wächst allerdings die Gefahr, dass dieses Wissen für die Bewertung von Dingen und Erscheinungen herangezogen wird, die ganz anderen Zusammenhängen folgen. Das heißt, die Abstraktion birgt die Gefahr, in die Irre zu gehen, weshalb auf die ins Detail gehende Ergründung von Zusammenhängen nicht verzichtet werden darf. Bei der Aufgabe, möglichst viele Facetten eines Zusammenhangs zu erfassen, kann die Dialektik Kompass sein. Sie war im antiken Griechenland als Methode des wissenschaftlichen Disputs entwickelt worden, mit deren Hilfe man tiefer in die Zusammenhänge und Wechselwirkungen der

Dinge und Erscheinungen eindringen wollte. Man kann die Dialektik also als Methode zur Aufhebung der Abstraktion, die unserem Denken durch die Sprache immanent ist, verstehen. Diese Intention der Dialektik schließt nicht aus, dass auch sie sich der Abstraktion bedient, um zum Wesen von Zusammenhängen vorzudringen.

2. Noch einiges Dialektisches

In diesem Abschnitt werde ich einige grundlegende Fragen mit Hilfe beziehungsweise unter dem Blickwinkel der Dialektik behandeln. Damit soll das Verständnis der Dialektik vertieft werden. Darüber hinaus finde ich die Fragen einfach interessant. Da sie mitunter die ganze Breite der Naturgeschichte berühren, sind Rückgriffe auf die Darlegungen im ersten Teil unvermeidlich. In gewisser Weise waren Erkenntnisse des ersten Teils sogar Voraussetzung für einige der nachfolgenden Überlegungen.

Dialektik und Mathematik

Die Mathematik könnte man als eine übergeordnete Wissenschaft bezeichnen, finden doch ihre Erkenntnisse in beinahe allen Wissensbereichen Anwendung. Vielen gilt es als Ritterschlag, wenn sich Ergebnisse ihrer Forschungen in mathematische Gleichungen oder Modelle fassen lassen. Gegenstand der Mathematik sind vor allem quantitative Zusammenhänge, zur Darstellung sie ein von ihr geschaffenes System aus Zahlen und Symbolen nutzt. Die damit einhergehende hohe Abstraktion ermöglicht, dass ihre Erkenntnisse bei sehr unterschiedlichen praktischen und wissenschaftlichen Untersuchungen Anwendung finden. Obwohl dieser hohe Grad der Abstraktion ihr großer Vorteil ist, wird man die Entwicklung

der Mathematik nur verstehen, wenn man sie als Antwort auf die konkreten Erfordernisse des Lebens begreift.

Die Anfänge der Mathematik waren wahrscheinlich mit der Aufgabe verbunden, Mengen zu bestimmen respektive zu vergleichen. Die ersten "Mathematiker" gaben den Menschen die dafür erforderlichen Methoden an die Hand, was durchaus wörtlich zu verstehen ist, denn sicherlich waren die Finger ihre ersten Rechenhilfen. Trotzdem hat es über lange Zeit ein auf der Zwölf basierendes Zählsystem gegeben. Die Zwölf war eine magische Zahl, denn das Jahr gliederte sich in zwölf Monate oder Mondzyklen. Sie bestimmten mit dem Wechsel der Jahreszeiten den Lebensrhythmus der Menschen. Davon ausgehend wurde auch der Tag in zweimal zwölf Stunden und die Stunden beziehungsweise Minuten in jeweils 60 kleinere Einheiten unterteilt. Dieses auf der Zwölf fußende System fand aber nicht nur in Bezug auf Zeitangaben Anwendung, auch beim Zählen im alltäglichen Leben wurde mit Dutzend, Schock, Gros und Maß hantiert. Diese Größen waren fest in der Vorstellungswelt der Menschen verankert. Zum Zählen musste man jedoch die Finger zur Hilfe nehmen, und die sind nur zehn. Wahrscheinlich hat sich deshalb irgendwann das Dezimalsystem durchgesetzt.

Das Beispiel zeigt, dass die Mathematik nicht losgelöst von der Wirklichkeit entstand, sie entwickelte sich vielmehr im Kontext mit den Menschen respektive den Aufgaben, die sie sich stellten. Nicht für jede Aufgabe fand sich gleich eine Lösung, mancher gefundene Ansatz mag sich später auch als falsch erwiesen haben, denn die Mathematik ist wie jede andere Wissenschaft auf der *Suche* nach einer adäquaten Widerspiegelung der Realität. Deutlich wird dies bei mathematischen Modellen, die komplexe Zusammenhänge in der Natur oder der Gesellschaft erfassen wollen. Sie können sich nur schrittweise dieser Komplexität

annähern, denn genauso, wie man jede Bestimmung konkreter Objekte auf einige Parameter in einem definierten Zeitfenster fokussieren muss, um zu einem Ergebnis zu gelangen, genauso muss jedes mathematische Modell von einem Teil möglicher Wechselwirkungen abstrahieren, um für ein gegebenes Problem eine Lösung präsentieren zu können. Die Komplexität der Welt, in der alles mit allem zusammenhängt und in der sich alle Faktoren ständig verändern, kann auch die Mathematik nur in Teilen erfassen. Das hat immerhin den Vorteil, dass für jede Generation Aufgaben zur Weiterentwicklung der Modelle bleiben.

Die Mathematik kann man auch als eine Methode des Denkens begreifen. Nur, was ist eine *Methode des Denkens* eigentlich? Man kann sie vielleicht mit einem Algorithmus vergleichen, anhand dessen ein Computer in der Lage ist, Aufgaben zu lösen. Eine Methode des Denkens wäre demnach ein Algorithmus für das Gehirn, mit dem es die Wirklichkeit analysieren und Zusammenhänge erfassen kann. Die grundlegenden Algorithmen wie Abstraktion und Kombination sind tief in der Evolution verwurzelt und damit Teil des Erbguts. Das Gehirn arbeitet aber nicht nur ererbte Algorithmen ab, es ist selbst lernfähig, das heißt in der Lage, seine Algorithmen fortzuschreiben. Das kann sowohl durch eigene Erkenntnisse als auch durch vermitteltes Wissen geschehen. Doch, welche Methoden des Denkens gibt es und wie unterscheiden sie sich? Das Denken entstand mit der Notwendigkeit, Entscheidungen zu treffen. Entscheidungen erfordern die Fähigkeit zur Abstraktion und Kombination, die damit zur Basis aller Denkvorgänge wurden. Die Logik als weitere frühzeitig entstandene Methode des Denkens fokussiert sich auf kausale Zusammenhänge. Auf diesen Fähigkeiten aufbauend, erfasst die Mathematik quantitative Zusammenhänge, die weitgehend unabhängig von den konkreten Eigenschaften der

Dinge und Erscheinungen untersucht werden. Die Dialektik wiederum untersucht die Wechselwirkungen der Dinge und Erscheinungen, unabhängig davon, ob sie sich auf quantitative oder qualitative Aspekte der Wirklichkeit beziehen. Insofern kann man die Dialektik als eine übergeordnete Methode des Denkens ansehen, die für alle Wissensgebiete Gültigkeit hat. Auch für die Mathematik? Auch für die Mathematik, selbst dann, wenn kein Mathematiker jemals etwas von Dialektik gehört haben sollte.

In der Tat gibt es wohl kaum eine andere Wissenschaft, die so viele dialektische Ansätze zu ihrem Basiswissen zählt wie die Mathematik. Nehmen wir als erstes die „Null“, deren Einführung als eine der großen Errungenschaften der Mathematik gilt. Die Null ist ja auch etwas ganz Ungeheuerliches, denn sie bezeichnet etwas, das nicht vorhanden ist, mit einem Namen und einem Symbol. Das Nichts wird zu einer definierten Größe, mit der man rechnen kann. Es ist zwar nicht unbedingt logisch, etwas Nichtvorhandenem eine konkrete Größe zuzuordnen, ein dialektischer Ansatz ist es allemal, denn eine der Grundüberzeugungen der Dialektik besagt, dass sich die Dinge und Erscheinungen nicht aus sich selbst heraus erklären lassen, sie definieren sich vielmehr durch ihr Gegenteil. Das diffuse Nichts wird durch eine konkrete Zahl bestimmt. Das Gegenteil des auf diese Weise definierten Nichts ist das ebenfalls nicht greifbare Unendliche. Unendlich kann unendlich groß bedeuten aber auch unendlich klein. Für beide gibt es ein Symbol, mit dem die Mathematiker Berechnungen anstellen. Unendlich impliziert "nicht erreichbar". Ganz egal, wie weit man fortschreitet, es bleibt immer ein Stück des Weges, das zu gehen ist. Umgekehrt kann man eine Strecke halbieren und deren eine Hälfte wieder halbieren und so fort. Die zu halbierende Strecke wird immer kleiner und doch gibt es immer wieder die Möglichkeit den

verbleibenden Rest weiter zu teilen. Letztlich kann man also weder die eine noch die andere Unendlichkeit erreichen und damit auch nicht definieren, sagt mir die Logik. Mathematiker haben solche Skrupel nicht. Man kann sich einer Unendlichkeit von immer kleineren Strecken mathematisch annähern und einen Grenzwert im Unendlichen berechnen. Auf diese Weise berechnet man auch den Punkt, an dem Achill die Schildkröte überholt. Und er überholt sie ja tatsächlich! Ähnlich "logisch" ist übrigens die Feststellung der Astrophysiker, dass das Weltall unendlich groß sei und doch räumlich begrenzt. Diese Beispiele vor Augen muss man wohl akzeptieren, dass sich die Wirklichkeit mit Logik allein nicht ausreichend beschreiben lässt. Wir brauchen die Dialektik, die die Dinge und Erscheinungen durch ihr Gegenteil definiert. Mit ihr lässt sich erklären, dass das eigentlich undefinierbare Unendliche durch sein Gegenteil, einen definierten Grenzwert bestimmt ist.

Noch einmal zurück zur Null, deren tatsächliche Bedeutung weit über die Beschreibung des Nichtvorhandenseins hinausgeht. Um diese zu erfassen, müssen wir noch einmal zum Zählen zurückkehren. Die alten Römer hatten ein Zählsystem erfunden, das auf der Fünf, auf den fünf Fingern einer Hand, basierte. Ein Finger oder ein Zähler konnte durch eine Kerbe im Holz oder durch einen Strich auf dem Pergament festgehalten werden. Zwei Striche bedeuteten zwei gezählte Einheiten, drei Striche drei. Waren fünf zu zählende Dinge beisammen, dann hatte man eine Hand voll. Für die Handvoll wurde ein neues Zeichen benutzt. Zwei Handvoll erhielten wieder ein eigenes Symbol, das man, ähnlich den Einer-Symbolen additiv aneinanderreihen konnte. Der Nachteil dieses Systems war, dass man für größere Zahlen immer neue Symbole benötigte. Trotzdem erlangte es durch die Möglichkeit, ermittelte Mengen auf einfache Weise zu

dokumentieren, große praktische Bedeutung. Für das eigentliche Rechnen, dem Herausfinden und Anwenden quantitativer Zusammenhänge, war es dagegen wenig geeignet.

Die arabischen Zahlen, die ihren Ursprung wohl in Indien hatten, boten in dieser Hinsicht neue Möglichkeiten. Bei den arabischen Zahlen erhält jede Menge, beginnend mit dem Nichts, ein eigenes Symbol, eine Zahl. Das heißt, die Symbole werden nicht additiv aneinandergereiht, sondern jeder Zählschritt bis zur Neun wird spezifisch benannt. Man könnte auch sagen, jeder Finger erhielt einen Namen. Sind die Finger beider Hände abgezählt, dann entsteht etwas qualitativ Neues, denn, um weiterzählen zu können, muss eine zweite Zehnerreihe eröffnet werden. Diese zweite Reihe beginnt wieder bei null. Die 10 versinnbildlicht also einerseits den Abschluss der ersten Zählreihe (zehn Finger) und gleichzeitig den Start der zweiten, die jedoch noch keine, also null Zähler, auf sich vereint. Die Null hat hier also eine doppelte Bedeutung, sie zeigt einerseits den Beginn einer neuen Qualität an (zweite Zählreihe), die andererseits jedoch noch nicht zählbar begonnen hat (ohne Quantität). Ganz nebenbei beinhaltet der Übergang von der 9 zur 10 eine weitere in der Dialektik verankerte Gesetzmäßigkeit - den Übergang von Quantität in Qualität. In der Reihe von 0 bis 9 ruft jedes hinzukommende Zählstück ein neues Symbol, eine andere Zahl auf. Die Zahlen 0 bis 9 bilden damit eine eigene Qualität. Kommt beispielsweise zu 4 Stücken ein Stück hinzu, dann kann diese Menge wieder mit einer Zahl, mit der 5, benannt werden. Beim Übergang von der 9 zur 10 passiert jedoch etwas anderes. Durch die Zunahme einer einzigen Quantität wird die Gruppe der einstelligen Zahlen verlassen. Es entsteht eine Zahl, die aus zwei Symbolen, aus zwei Ziffern zusammengesetzt ist. Die ursprünglichen Zahlen von 0 bis 9 werden in der zweistelligen Zahl zu Ziffern, zu Bestandteilen

eines übergeordneten Größeren. Damit verkörpern die aus zwei Ziffern zusammengesetzten Zahlen eine neue Qualität. Sie öffnen den Horizont über das eigene Ich hinaus. Nicht nur die eigenen zehn Finger, die ganze Welt rückt jetzt in den Fokus des Zählens.

Eine weitere große Erfindung der Mathematiker sind die negativen Zahlen. Die Zahlen waren ursprünglich aus dem Zählen von Personen, Gegenständen, oder was sonst noch wichtig ist im Leben, entstanden. Negative Zahlen können aber nicht aus dem Zählen wirklicher Dinge hervorgegangen sein, denn sie sind in diesem Sinne nicht real. Niemand hat je minus ein Auto gesehen oder gehört. Trotzdem haben sich die negativen Zahlen als höchst brauchbar für die Beschreibung von Zusammenhängen erwiesen, denn sie rücken einen anderen Aspekt in den Blick. Positive Zahlen bezeichnen den Fakt des Vorhandenseins, negative Zahlen den Fakt des Fehlens. Das eine ist ohne das andere nicht denkbar. Nur wenn etwas vorhanden war oder ist, kann man auch sein Fehlen feststellen und darüber hinaus die Quantität des Fehlenden bestimmen. Ebenso wäre die Feststellung des Vorhandenseins sinnlos, wenn es nicht die Alternative des Fehlens gäbe. Vorhandensein und Fehlen sind Gegensätze, die genauso wie hell und dunkel nur zusammen einen Sinn ergeben. Sind eigentlich das Nichtvorhandensein und das Fehlen dasselbe? Das Nichtvorhandensein (0) und das Fehlen (-x) bezeichnen Sachverhalte unterschiedlicher Bezugssysteme. Nehmen wir ein Beispiel. Wir sollen eine Truppe von Kämpfern aufstellen. Es gelingt uns zehn (+10) Männer zu rekrutieren. Die Männer haben aber keine (0) Waffen. Wenn jeder Mann mit einem Schwert ausgerüstet werden soll, dann fehlen zehn Schwerter (-10). Aus (0) vorhandenen Schwertern werden nun (-10) fehlende Schwerter. Wie geht das? Zuerst werden die zehn potenziellen Kämpfer beschrieben, die keine Schwerter tragen. Erst in dem

Moment, da die Forderung aufgestellt wird, dass die Kämpfer Schwerter tragen sollen (neues Bezugssystem Kämpfer mit Schwert), wird klar, es fehlen zehn Schwerter. Das heißt, ein und derselbe Sachverhalt (nicht vorhandene Schwerter) erhält je nach dem Bezugssystem, in das er gestellt wird, eine unterschiedliche Bedeutung oder Relevanz.

In der Schule wurde uns die Systematik der Zahlen mit dem Zahlenstrahl erklärt. In dessen Mittelpunkt stand die Null, nach rechts fortlaufend kamen die positiven Zahlen, bis sich der Pfeil irgendwo im Unendlichen verlor. Die negativen Zahlen wurden in die andere Richtung, also nach links laufend und ebenfalls einer Unendlichkeit zustrebend, dargestellt. Mit Hilfe dieses Modells konnte das Addieren und Subtrahieren von positiven und negativen Zahlen gut veranschaulicht werden. Allerdings hinterließ es bei mir auch Unbehagen, nämlich dann, wenn ich mir vorstellen wollte, wieso bei der Multiplikation einer beliebig großen positiven Zahl mit minus eins das Ergebnis mit einem Mal am anderen Ende der Welt, respektive des Zahlenstrahls zu suchen sein sollte. Ich weiß nicht, ob mittlerweile eine andere Darstellung des Zahlenstrahls üblich ist, erforderlich wäre sie, denn $+1$ und -1 sind eben nicht nur entgegengesetzte Größen, sie bezeichnen auch zwei Seiten *derselben* Medaille. Wenn ein Koffer vorhanden ist oder ein Koffer fehlt, dann sind das zwei entgegengesetzte Sachverhalte. Trotzdem geht es jeweils um *einen* Koffer. Wenn es sich bei den positiven und negativen Zahlen also um zwei Seiten ein und derselben Medaille handelt, dann sollte dies auch durch den Zahlenstrahl widergespiegelt werden. Die Null wäre dann der Beginn des Zählens, sowohl der positiven Zahlen (zum Beispiel auf der Oberseite des Strahls dargestellt) als auch der negativen Zahlen (auf der Unterseite desselben Strahls). Beim Addieren und Subtrahieren würde sich das fortlaufende

Zählen immer über die Null als Wendepunkt vollziehen. Die Multiplikation mit einer negativen Zahl bedeutet dann jedoch, dass man die Seite der Medaille, das heißt das Bezugssystem, wechselt. Das heißt, bei einer Multiplikation mit -1 verändert sich nicht die Position der Zahl auf dem Zahlenstrahl, sondern lediglich die Seite des Strahls, auf der sie zu finden ist. Aus dem Vorhandensein wurde das Fehlen einer bestimmten Quantität. Bisher haben wir nur die ganzen Zahlen resultierend aus dem Zählen von Personen, Dingen und Prozessen betrachtet. Natürlich wurde auch mit halben Einheiten, wie einem halben Laib Brot, oder anderen Bruchteilen eines Ganzen gearbeitet. Zunehmend entstand jedoch das Bedürfnis, die Dinge und Prozesse genauer zu beschreiben. Man konnte zum Beispiel die Abmessungen der Dinge mit Hilfe von Messwerkzeugen relativ genau ermitteln. Wollte man die Messergebnisse mit ganzen Zahlen und deren Bruchteilen festhalten, geriet man schnell an Grenzen des Praktikablen. Dieses Manko war im 10. Jahrhundert in den hoch entwickelten arabischen Ländern besonders spürbar, jedenfalls begann man dort, das bestehende System um die Dezimalbrüche zu erweitern. Mit den Dezimalbrüchen ließen sich die immer genauer werdenden Messergebnisse nicht nur hervorragend dokumentieren, man konnte mit ihnen auch weiterführende Berechnungen anstellen. Es entstand jedoch ein neues Problem, denn die Messergebnisse wiesen nicht immer das gleiche Maß an Genauigkeit auf. Wenn man aber unterschiedlichen Genauigkeiten bedenkenlos miteinander kombiniert, dann kann das Ergebnis eine Genauigkeit vorgaukeln, die es in Wirklichkeit nicht besitzt.

Wir hatten einen Lehrer, der uns den Unterschied von Genauigkeit und Scheingenauigkeit näherbringen wollte. Das Thema hat bei mir innere Gegenwehr erzeugt und mich

wahrscheinlich deshalb immer wieder beschäftigt. Nehmen wir als Beispiel folgende Aufgabe: $127 \times 13,5$. Man nimmt schnell einen Taschenrechner und erhält 1.714,5. Aber ist das richtig? Das Ergebnis wäre richtig, wenn die Aufgabe $127,0 \times 13,5$ gewesen wäre. War sie aber nicht. Die Zahl 127 deckt die Spanne von 126,5 bis 127,4 ab. Das Ergebnis der Multiplikation könnte also einen Wert von 1.707,8 bis 1.719,9 haben. Nun gibt es zwei Möglichkeiten, entweder man gibt einen mittleren Wert von 1.714,5 als Ergebnis an und benennt gleichzeitig den Fehler, den dieses Ergebnis beinhalten kann, oder man bereinigt die Aufgabe dahingehend, dass ein gleiches, für beide Faktoren erreichbares Maß an Genauigkeit benutzt wird. Im zweiten Fall würde die Aufgabe 127×14 und das Ergebnis 1.778 lauten. Beide Wege haben offensichtlich Vor- und Nachteile. Das Beste wäre, man brächte die Genauigkeit der Faktoren auf ein gleiches, höheres Niveau, in unserem Beispiel wären das $127,1 \times 13,5 = 1.715,85$. Aber halt, das Produkt kann nicht genauer sein als die Faktoren, aus denen es resultiert. Also muss das Ergebnis 1.715,9 lauten. Das Runden des Ergebnisses weist uns jedoch wieder auf einen möglichen Fehler hin. Außerdem ist der Faktor 127,1 ebenfalls bereits gerundet. Er könnte von 127,05 bis 127,14 alles beinhalten. Das gilt für den anderen Faktor in gleicher Weise. Was sollen wir tun? Wir erhöhen die Genauigkeit weiter! Das Dilemma verlässt uns jedoch nicht. Es bleibt uns, wenn auch auf immer höherer Ebene, erhalten. Ganz egal, was wir anstellen, wie genau wir unsere Messung auch durchführen, es bleibt immer ein bestimmtes Maß an Ungenauigkeit. Auf der einen Seite ist also die mögliche Anzahl der Ziffern hinter dem Komma unendlich, was die Darstellung einer unendlichen Genauigkeit ermöglichen würde, auf der anderen Seite ist eine absolute Genauigkeit nicht erreichbar und damit keine Option für die Praxis des Messens. In dieser Praxis muss man sich mit relativen Genauigkeiten

begnügen, weshalb zu jedem Ergebnis eigentlich der Hinweis auf den möglichen Fehler gehört. Dass beim Messen keine absolute Genauigkeit erreicht wird, heißt jedoch nicht, dass eine solche nicht existieren würde. Gäbe es die absolute Genauigkeit nicht, könnten auch keine immer genauer werdenden Messergebnisse erreicht werden.

Welche Bedeutung haben die Grenzen der Genauigkeit des Messens für unsere alltägliche Praxis? In erster Linie ist es erforderlich, sie zu beachten. In der Praxis hat sich gezeigt, dass für jeden Zweck ein bestimmtes Maß an Genauigkeit erforderlich und ausreichend ist. Für unsere Vorfahren bestand die Schwierigkeit meist darin, dass ihre Messverfahren die eigentlich notwendige Genauigkeit nicht liefern konnten. Heute verzeichnet man eher den Umstand, dass Genauigkeiten erzielt werden können, die weit über das notwendige Maß hinausgehen. Das kann ebenfalls zum Problem werden, weil bei einer Messung, die nicht von der praktischen Notwendigkeit, sondern vom Drang nach Perfektion geleitet wird, Effektivitätspotenziale verloren gehen können. Die Zahl Pi lässt diesen Zusammenhang deutlich werden. Pi drückt das Verhältnis vom Umfang eines Kreises zu seinem Radius aus. Das spannende an Pi ist, dass man die Größe dieser Zahl nicht genau kennt, denn setzt man den Umfang eines Kreises zu seinem Radius ins Verhältnis, dann ergibt diese Rechnung kein endliches Ergebnis. Das ist theoretisch bewiesen. Ungläubige Praktiker haben Superrechner losgejagt und buchstäblich Billionen Stellen nach dem Komma berechnen lassen, ohne zu einem Ende zu gelangen. Für die Zahl Pi gilt offensichtlich das, was wir bereits über die Genauigkeit von Messergebnissen gesagt haben. Pi ist einerseits eine reelle Zahl, das heißt, sie ist in der Wirklichkeit existent. Gleichzeitig kann man sie nicht mit absoluter Genauigkeit bestimmen. Da man für

jede praktische Anwendung aber nur ein begrenztes Maß an Genauigkeit benötigt, ist dies nicht weiter von Belang.

Gleich und verschieden

Dinge, die verschieden sind, sind nicht gleich. Verschiedenheit schließt Gleichheit aus. Bedingen sie auch einander? Für diese Frage müssen wir wieder etwas tiefer in die Materie eintauchen.

Nehmen wir die Atome. Alle Atome sind in gleicher Weise aufgebaut. Sie haben einen Kern aus Neutronen und Protonen, der von Elektronen umschwirrt wird. Es gibt jedoch verschiedenartige Atome, die sich in der Anzahl ihrer Protonen unterscheiden. Atome mit gleicher Protonenzahl können wiederum unterschiedlich viele Neutronen besitzen. Sind nun zwei Atome mit gleicher Zahl an Protonen, Neutronen und Elektronen gleich? Die Struktur ihres Aufbaus ist gleich, aber ihre Bestandteile bewegen sich, und dies nicht überall und zu jeder Zeit in gleicher oder synchroner Weise. Hinzu kommt, dass das Atom selbst Bestandteil einer beziehungsweise mehrerer größerer Strukturen ist. Ein Kohlenstoffatom könnte zum Beispiel Bestandteil eines Kohlendioxid-Moleküls sein, das in der Atmosphäre des Planeten Erde unterwegs ist. Gerade schwebt es über einem Waldgebiet, wo es durch einen Baum zur Photosynthese aufgesogen wird, während andere Moleküle weiter durch die Lüfte irren. Das heißt, in der übergeordneten Struktur der Atmosphäre entstehen Wechselwirkungen, die jedes Kohlenstoffatom in spezifischer Weise beeinflussen. Insofern gibt es neben dem Aspekt der Gleichheit, resultierend aus dem gleichen Aufbau der Atome und Moleküle, immer auch einen Aspekt der Verschiedenheit, sowohl in Bezug auf die Bewegungen innerhalb der Struktur, als auch durch äußere Einflüsse im Rahmen einer übergeordneten Struktur verursacht. Umgekehrt

bestehen alle Atome und Moleküle, und seien sie noch so unterschiedlich, aus den gleichen Bausteinen, das heißt, die Verschiedenheit birgt immer auch einen Aspekt von Gleichheit in sich. Gleichheit und Verschiedenheit bedingen einander.

Das ist ja schön und gut, könnte man einwenden, aber wie ist das mit verschränkten Quanten. Quanten besitzen als kleinste Einheiten der Materie keine innere Struktur und, so sie miteinander verschränkt sind, bewegen sie sich auch völlig synchron. Sie weisen also identische Zustände auf, das heißt, sie sind völlig gleich. Die miteinander verschränkten Quanten existieren allerdings an unterschiedlichen Orten, wodurch sie unterschiedlichen äußeren Einflüssen ausgesetzt sind. Man kann die äußeren Einflüsse künstlich minimieren und auf diese Weise den Effekt der Quantenverschränkung aufrechterhalten und sogar technisch nutzbar machen. Die unterschiedlichen äußeren Einflüsse lassen sich jedoch nicht völlig eliminieren, was dem technischen Einsatz dieses Effektes Grenzen setzt. An den Beispielen kann man sehen, dass Gleichheit und Verschiedenheit zwar immer gemeinsam auftreten, dass sie in der konkreten Struktur aber durchaus einen unterschiedlichen Stellenwert besitzen können. Hinzu kommt, dass mit zunehmender Komplexität der Strukturen auch die Zahl der Aspekte, in denen sich Gleichheit oder Verschiedenheit ausdrücken, wächst.

Lebewesen haben eine sehr komplexe Struktur. Zwei Vertreter ein und derselben Art sind im Prinzip gleich aufgebaut, trotzdem unterscheiden sie sich in vielen Punkten. Der Löwenzahn hat wunderbar gelbe Blüten, in denen Samen gebildet werden, die mit kleinen Gleitschirmen in das Abenteuer der Fortpflanzung starten. Das gilt für alle Vertreter dieser Art. Trotzdem sind die Blüten der einzelnen Pflanzen unterschiedlich groß und sie sitzen auf unterschiedlich langen Stängeln. Die Blätter der einen Pflanze

sind kräftiger und ihre Wurzeln reichen tiefer als die der anderen. Selbst wenn wir davon ausgehen, dass das genetische Potenzial der verglichenen Pflanzen identisch wäre, was bei Pflanzen, die sich geschlechtlich fortpflanzen, nicht der Fall ist, dann sind da immer noch die äußeren Bedingungen, die Unterschiede im Wuchs der Pflanze bewirken. Zwei genetisch identische Pflanzen, die bei identischen äußeren Bedingungen heranwachsen, kommen in der Natur nicht vor. Ähnliches gilt für die Tiere. Der Mensch versucht zwar, bei Nutzpflanzen und Nutztieren durch Eingriffe in die Vermehrung und in die Wachstumsbedingungen eine gewisse Uniformität zu erzwingen, dem sind jedoch natürliche Grenzen gesetzt. Von ethischen Grenzen soll hier nicht die Rede sein.

Der Berufsstand, der wohl am intensivsten mit dem Wechselverhältnis von Gleichheit und Verschiedenheit konfrontiert ist, sind die Mediziner. Zwar gehören alle heute lebenden Menschen zur Art der *Homo sapiens*, trotzdem ist kein Individuum wie das andere. Selbst wenn man nur Vertreter eines Geschlechts miteinander vergleicht, sind die Unterschiede zwischen den Individuen noch immer bedeutend. Die medizinische Ausbildung beginnt trotzdem mit dem Studium eines idealtypischen Menschen. Erst muss der Lehrling verstehen, wie der Mensch "normalerweise" funktioniert, bevor er die Abweichungen von der Norm erkennen und einordnen kann. Dieser idealtypische Mensch ist gleichzeitig etwas Fiktives, das aus einer Abstraktion entsteht, bei der von den Besonderheiten konkreter Patienten abgesehen wird. Will man später eine erfolgversprechende Therapie festlegen, müssen die Besonderheiten der Patienten natürlich einbezogen werden. Die Bandbreite, in der diese die Art und den Erfolg der Behandlung bestimmen, reicht von gering, wenn die Vitalparameter im

Normbereich liegen, bis grundlegend, wenn erhebliche Beeinträchtigungen wie eine Herzschwäche, eine schwerwiegende Allergie oder andere Umstände zu berücksichtigen sind. Besonderheiten betreffen aber nicht nur den Allgemeinzustand des Patienten, auch im anatomischen Bereich existieren Abweichungen von der Norm, auffällige wie bei der Ausbildung der Extremitäten und nicht gleich sichtbare wie bei Lage, Größe, Form und Konsistenz innerer Organe, Blutgefäße oder anderer Körpersysteme. Durch die Vielzahl der Merkmale, mit denen ein Mensch bestimmt ist, die alle eine unterschiedliche Ausprägung haben können, wird auch unter mehreren Milliarden Menschen keiner genau wie der andere sein.

Wie ist das mit eineiigen Zwillingen? Eineiige Zwillinge haben ein identisches genetisches Potenzial. Im Wort Potenzial steckt, dass es Faktoren gibt, die dessen Entfaltung beeinflussen. Die Zwillinge weisen deshalb zwar ein hohes Maß an Übereinstimmung in ihren körperlichen Merkmalen aus, in Details wie den Fingerabdrücken unterscheiden sie sich jedoch. Daneben können Ereignisse wie kleine Missgeschicke oder Krankheiten körperliche Veränderungen bewirken, die nicht beide gleichermaßen treffen. Hinzu kommt, dass Menschen auch durch ihr Verhalten bestimmt sind. Da die Zwillinge die prägende Zeit von Kindheit und Jugend in der Regel gemeinsam verbringen, werden sich erst einmal nur geringe Verschiedenheiten in ihrem Verhalten ausbilden. Je mehr sich die Wege der Zwillinge trennen und sich dadurch ihre Erfahrungen unterscheiden, desto stärker werden auch Unterschiede in ihrem Verhalten sichtbar werden.

Schauen wir uns die Unterschiede im Verhalten von Menschen etwas genauer an. Im Potpourri ihrer Verhaltensmuster gibt es einige, die aus der Frühgeschichte der Evolution stammen. Sie sind in das Erbgut eingegangen und im Prinzip bei allen Menschen

gleich. Dazu zählen zum Beispiel das Wegzucken bei unerwarteter Berührung oder die Zuneigung und Fürsorge für Neugeborene. Die meisten Verhaltensweisen werden jedoch im Laufe des Lebens durch Erfahrungen geprägt beziehungsweise beeinflusst. Diese Erfahrungen sind in ihren Grundzügen durch das gesellschaftliche Umfeld, in dem die Menschen leben, bestimmt. Das Umfeld der Jäger und Sammler war ein anderes als das der Industriearbeiter. Daneben gibt es prägende Faktoren, die aus örtlichen Gegebenheiten resultieren. Ein Bergbauer hat ein anderes Umfeld als ein Fischer am Meer. Und es gibt Umstände, die jeden einzelnen Menschen in besonderer Weise beeinflussen. So sind die mit dem Leben in der Gemeinschaft verbundenen Kontakte zu anderen nicht nur von den äußeren Gegebenheiten, sondern auch von den Eigenarten der Personen, die aufeinandertreffen, bestimmt. Schon deshalb sind sie für jeden Menschen einzigartig. Das heißt, jeder Mensch hat eine Erfahrungswelt, die er mit den anderen in der Gemeinschaft teilt, aber auch spezifische Erfahrungen, die nur ihn beeinflussen. Im Zusammenklang mit seinem Temperament machen sie ihn zu etwas Besonderem, zu einem Individuum.

Die Individuen können jedoch nur in der Gemeinschaft überleben und ihre Fähigkeiten entfalten. Damit eine Gemeinschaft funktioniert, sind Verhaltensregeln erforderlich, die für alle bindend sind. Derartige Regeln resultieren aus Erfahrungen, die in der Gemeinschaft von Generation zu Generation weitergetragen werden. Sie können naturgemäß nicht allen Besonderheiten in den Lebensumständen der beteiligten Personen oder allen Spezifika einer Situation gerecht werden. Deshalb werden sie mitunter zum Ausgangspunkt von Konflikten. Konflikte entstehen aber auch dadurch, dass sich die Intensität, mit der der einzelne seine Individualität ausleben will, von

Mensch zu Mensch unterscheidet. Je stärker jemand seine Besonderheiten in den Vordergrund stellt, desto größer wird die Gefahr, dass er die Regeln der Gemeinschaft verletzt. Andere wiederum werden nicht nur die verkündeten Regeln einhalten, sondern in jeder Beziehung nur das tun, was opportun erscheint. Die meisten Menschen ordnen sich jedoch irgendwie dazwischen ein, wobei sie mitunter nach Lebensbereichen wie Arbeit, Familie oder Clique unterscheiden. Alle aus der Individualität der Menschen resultierenden Lebensentwürfe sind legitim, solange die dem Gemeinwohl verpflichteten Regeln eingehalten werden. Das nennt man dann Freiheit. Wird jedoch ein Lebensentwurf zum allein gültigen erklärt, dann sind Unterdrückung und Gewalt gegen die, die anders aussehen, die sich anders verhalten, anders denken oder fühlen, nicht weit.

Zum Verhältnis von Revolution und Evolution

Eine Revolution ist ein grundlegender Wandel, der sich meist abrupt oder in einer relativ kurzen Zeitspanne vollzieht. Im Gegensatz dazu wird eine Evolution als allmähliche Veränderung beschrieben. Abrupter Wandel und allmähliche Veränderung sind grundlegend verschieden; sie schließen einander aus. Wenn man sich die Entwicklung der Welt anschaut, egal ob man den Kosmos betrachtet oder das Leben auf der Erde, egal ob man materielle oder ideelle Prozesse untersucht, über lange Perioden findet man immer beides, Phasen allmählicher Veränderung genauso wie abrupten Wandel. Man kann also davon ausgehen, dass Evolution und Revolution Entwicklungsformen sind, die sich gegenseitig bedingen. Diese Bedingtheit muss bereits in den kleinsten Bausteinen der Materie angelegt sein, weshalb wir uns wieder zuerst dem Atom zuwenden.

Ein Atom besteht aus Protonen und Neutronen, die einen relativ stabilen Kern bilden, und aus Elektronen, die diesen Kern umschwirren und das dynamische Moment des Atoms ausmachen. Statisches und dynamisches Moment fügen sich zu einer Einheit, die stabil existiert, die aber auch zu Veränderungen fähig ist. Wenn es gelänge, dieses Atom von allen äußeren Einflüssen abzuschirmen und innere, das Gleichgewicht störende Wirkungen zu unterbinden, dann würde es bis in alle Ewigkeit unverändert existieren. Das ist jedoch nicht möglich, denn alles und jedes ist in größere Strukturen und deren Wirkungsgefüge eingebunden. Hinzu kommt, dass das Atom selbst aus Teilen besteht, die Wirkungen entfalten und so Veränderungen des Ganzen verursachen können. Erinnerung sei an den radioaktiven Zerfall großer Atome, der keines äußeren Anstoßes bedarf. Außerdem gibt es immer auch andere, Dritte gewissermaßen, die unser Atom in seinem Sein beeinflussen, zum Beispiel indem sie es zu einer Partnerschaft in einem Molekül verleiten.

Die mit inneren oder äußeren Wirkungen verbundenen Prozesse können zu einem Abfluss oder einem Zufluss von Energie führen. Ein Atom oder ein Molekül wird, wie jede andere Struktur auch, solche Zu- oder Abflüsse bis zu einem gewissen Grad verkraften, indem es seine eigenen Bewegungen entsprechend anpasst. Die daraus resultierenden Veränderungen sind evolutionär, da sie die Struktur nicht grundlegend verändern. An einem bestimmten Punkt ist das Maß jedoch voll und der Abfluss oder die Zufuhr weiterer Energie führt zum Kollaps. Die Struktur muss sich neu erfinden, das heißt, das erforderliche relative Gleichgewicht von Masse und Energie muss sich in anderer Weise herstellen. Das Kristallgitter eines festen Stoffes könnte sich auflösen und einem flüssigen Zustand Platz machen. Derartige strukturelle Veränderungen erfolgen abrupt, an einem bestimmten Punkt der

Entwicklung. Die revolutionäre Veränderung ist hier also Resultat eines vorausgegangenen evolutionären Prozesses. Das dabei entstandene Neue weist andere Eigenschaften als der Vorgänger auf. Gleichzeitig verhält es sich anders zu äußeren Wirkungen, obwohl es immer noch aus den gleichen Teilen wie die vorherige Struktur besteht.

Grundlegende strukturelle Wandlungen, das heißt qualitative Veränderungen, resultieren aber nicht nur aus der allmählichen Anhäufung oder dem allmählichen Abfluss von Potenzialen (Quantitäten), sie können auch das Resultat plötzlicher, massiver äußerer Einflüsse sein. Wird ein Atom einer energiereichen Strahlung ausgesetzt, kann diese den Atomkern zerstören. Seine Teile müssen sich fortan in neuen Strukturen organisieren oder als freie Energie das Weite suchen. Das heißt, eine starke äußere Wirkung kann schlagartig zu einer revolutionären Veränderung führen, die ihrerseits eine völlige Neuordnung der weiteren Entwicklung nach sich zieht. Untersucht man die Geschichte der Erde und des Lebens darauf, dann stößt man immer wieder auf Katastrophen, die, durch äußere Faktoren ausgelöst, beinahe schlagartig große Veränderungen zur Folge hatten. Das vielleicht bekannteste Beispiel ist der Untergang der Dinosaurier, die Jahrmillionen das Leben auf der Erde dominiert hatten und dann in relativ kurzer Zeit fast völlig von ihr verschwanden. Es ist hier unerheblich, welcher Art die ursächliche Katastrophe war, aus der Sicht der Saurier waren es in jedem Fall äußere Faktoren, die ihre Lebensgrundlagen dramatisch veränderten und damit ihren Untergang beschworen. Der abrupte Wandel der Existenzbedingungen führte zu einem radikalen Schnitt in der Evolutionsgeschichte, der den Aufstieg anderer Lebewesen, darunter der Säugetiere, ermöglichte. Ohne diese Revolution

hätte die Evolution einen anderen Verlauf genommen, wären die Menschen womöglich nie auf ihrer Bühne erschienen.

Nehmen wir an, besagte Katastrophe resultierte aus dem Einschlag eines Asteroiden, dann kann man es wohl als Zufall werten, dass dieser Asteroid zu einem Zeitpunkt auf die Erde schlug, als sich die Säugetiere in den Startlöchern der Evolution befanden. Hinzu kommt, dass der Einschlag mit einer Energie erfolgte, die die Bedingungen für die Existenz von Leben nicht vollends zerstörte, die aber doch zu klimatischen Veränderungen führte, denen die Saurier nicht gewachsen waren. Jeder Faktor, der zu dieser Katastrophe und der von ihr ausgehenden Entwicklungen führte, hatte eine bestimmte Ursache. Die Vielzahl der Faktoren, die in Ort und Zeit zusammenkommen mussten, damit die Evolution genau den Verlauf nehmen konnte, den sie nahm, war jedoch so groß, dass deren Zusammentreffen als Zufall gewertet werden muss. Verallgemeinernd heißt das, sowohl die Evolution als auch die Revolution beruhen auf kausalen Zusammenhängen, die ihren Ablauf bestimmen. Gleichzeitig werden sie von zufälligen Ereignissen geprägt, die ihren scheinbar vorherbestimmten Verlauf immer wieder modifizieren.

Das Zusammenwirken von Faktoren in Ort und Zeit spielt auch in anderer Hinsicht eine Rolle. Beginnen wir mit der Zeit. Die Zeit ist bereits in den Definitionen von Evolution und Revolution, nämlich als abrupt und allmählich, enthalten. Beide Charakteristika tragen jedoch einen relativen Aspekt in sich, der mit der Zeitspanne, die man betrachtet, deutlich wird. In den Maßstäben der Entwicklung des Lebens, die einen Zeitraum von rund vier Milliarden Jahren durchschritt, kommt das Auftauchen des modernen Menschen einer Revolution gleich. In nur einigen Hunderttausend Jahren wurden die Homo sapiens zu einer Spezies, die die Fähigkeit entwickelte, den eigenen Lebensraum wie auch den Lebensraum

der meisten anderen Lebewesen zu verändern. Diese Revolution vollzog sich allerdings nicht in einem Schritt, sondern in Etappen, die wiederum von allmählichen Fortschritten wie auch von schlagartigen Veränderungen gekennzeichnet waren. Außerdem hatte der Siegeszug der Homo sapiens eine Vorgeschichte, in der ebenfalls Phasen einer allmählichen Entwicklung wie auch plötzliche Wendungen zu verzeichnen sind. Man kann also festhalten, dass Revolutionen auch evolutionäre Abschnitte beinhalten und eine Evolution irgendwann Brüche, abrupte Wendungen oder Neuanfänge durchläuft.

Welche Rolle spielt der Ort? Prinzipiell vollzieht sich jedes Ereignis an einem bestimmten Ort in einer bestimmten Zeit. Jedes Ereignis entfaltet daher seine Wirkungen in einem mehr oder weniger begrenzten Umfeld. Diese lokale Begrenztheit kann unterschiedliche Dimensionen umfassen. So ist die Entstehung unseres Sonnensystems in die Geschichte des Universums eingebettet, dessen Entwicklung sich jedoch nicht überall in gleicher Weise vollzog. Nicht zuletzt wegen dieser Unterschiede waren und sind nicht überall Voraussetzungen für die Entstehung von Leben entstanden. Auch auf der Erde vollzog sich die Entwicklung nicht überall in gleicher Weise. Es bildeten sich unterschiedliche Lebensräume heraus, die auch unterschiedliche Lebensformen hervorbrachten. Da sind die großen globalen Sphären wie Luft, Wasser und Land, in denen die Entwicklung des Lebens verschiedene Wege nahm. Außerdem bestanden und bestehen in den einzelnen Weltengegenden spezifische Existenzbedingungen, die zu Sonderwegen der Evolution führten.

Die Evolution des Lebens verlief also nicht gleichförmig, weder in der Zeit noch in den einzelnen Sphären und Gegenden des Planeten. Aber wie vollzieht sich dieser Prozess überhaupt? Die Evolution beruht auf der Anpassung des Lebens an

unterschiedliche beziehungsweise sich verändernde Existenzbedingungen. Verändern können sich zum Beispiel die klimatischen Verhältnisse und damit die Ernährungsvoraussetzungen. Vielleicht erscheinen auch bisher ungekannte Konkurrenten zum bestehenden Nahrungsangebot oder es tauchen Räuber auf, für die man selbst zur erstrebenswerten Beute wird. All diese Faktoren verlangen eine Anpassung, damit die eigene Art überleben kann. Diese Anpassung wird im Rahmen der geschlechtlichen Fortpflanzung durch immer neue Kombinationen des Erbguts erreicht. Die meisten der gezeugten Nachkommen mögen zwar einem Durchschnitt entsprechen, es entstehen aber auch Individuen, die in der einen oder anderen Hinsicht anders sind und besser mit den veränderten Bedingungen zurechtkommen. Deren Nachkommen haben alle Chancen, eine dominierende Rolle in der Population zu spielen und ihren Samen in großem Maßstab fruchtbar zu machen. Als Resultat werden sich die von ihnen getragenen Merkmale verbreiten und so die Anpassung verstetigen.

Außer durch eine solche allmähliche Anpassung können Veränderungen auch sprunghaft erfolgen, denn neue Merkmale entstehen nicht nur aus neuen Kombinationen vorhandener Gene, sondern auch aus Fehlern bei der Duplizierung des genetischen Materials. Die daraus hervorgehenden Mutationen mögen zwar in vielen Fällen nicht existenzfähig sein, einige werden sich jedoch behaupten, insbesondere dann, wenn sie Eigenschaften zeigen, die Vorteile im Überlebenskampf bieten. Durch die ihnen eigene Vitalität werden sich diese schneller vermehren als andere und schlechter angepasste Artgenossen verdrängen. Zufällige Genveränderungen können auch im Rahmen der geschlechtlichen Fortpflanzung auftreten, da auch

diese letztlich auf der Duplizierung der Zellen durch Teilung basiert. Das auf solche Weise veränderte genetische Material fließt in diesem Fall in den Pool der möglichen genetischen Kombinationen ein, wo es sich bewähren kann oder wieder verschwindet. Es ist aber auch möglich, dass sich eine ganze Reihe von Eigenschaften gleichzeitig verändern, zum Beispiel, weil neue Lebensräume zu erobern sind. Lebewesen, die sich in mehreren Merkmalen von ihren Vorgängern unterscheiden, formen unter Umständen eine neue Art.

Noch einmal zurück zum Prozess der Menschwerdung. Die Entwicklung der Gattung Mensch beinhaltete neben evolutionären Phasen auch eine Reihe von Brüchen, die sich in der Herausbildung neuer Arten widerspiegelten. Ein kontinuierliches Moment ihrer Entwicklung war, dass sie Gegenstände, die sie in der Umgebung fanden, für ihre Zwecke verwendeten. Sie benutzten sie als Waffen, um Angreifer abzuwehren, oder als Werkzeuge, um die angestrebte Nahrung zu erlangen. Irgendwann begannen sie, die in der Natur vorgefundenen Gegenstände so zu verändern, dass sie ihren Zwecken besser gerecht wurden. Mit der Fähigkeit, die Hilfsmittel an die jeweiligen Bedingungen und Zwecke anzupassen, erreichten die Menschen eine gewisse Unabhängigkeit von den gegebenen Bedingungen. Physische Anpassungen waren nun nicht mehr zwingende Voraussetzung, um in einer sich verändernden Umwelt zu überleben. Die bei der Herstellung der Werkzeuge und Waffen gesammelten Erfahrungen konnten in der Gemeinschaft weitergegeben werden. Dieser Prozess erreichte mit der Herausbildung der Sprache eine neue Qualität. Mit der Sprache hoben sich die Menschen von allen anderen Tieren ab.

Wenn man über die Besonderheiten der Menschen sinniert, darf man nicht vergessen, dass sie selbst Resultat der Naturgeschichte sind. Das wird unter anderem in ihrem Aufbau deutlich. Man schätzt, dass Menschen aus zirka 10 hoch 27 (also 1 und 27 Nullen) Atomen bestehen. Diese Atome sind spätestens mit unserem Sonnensystem, das heißt, vor mehr als vier Milliarden Jahren entstanden. Ein Mensch besteht aber nicht nur aus Atomen. Er ist auch ein Organismus, das heißt, ein Verbund von Zellen. Der Zellverbund Mensch besteht aus schätzungsweise 10 hoch 14 Zellen, die sich aneinander angepasst und auf einzelne Aufgaben spezialisiert haben. Der Organismus sichert ihr Überleben, weshalb sie das ihrige beitragen, ihn zu erhalten. Trotzdem hat jede Zelle ein eigenes von Werden und Vergehen bestimmtes Dasein. Bei einem erwachsenen Menschen sterben in jeder Sekunde rund 50 Millionen Zellen und neue werden in ähnlicher Größenordnung gebildet. Das Ganze funktioniert, weil jede einzelne Zelle ihren definierten Platz im Organismus hat und die mit ihm verbundenen Aufgaben mehr oder weniger selbsttätig wahrnimmt. Neben der Unmenge von Zellen, aus denen ein Mensch besteht, bevölkern ihn auch noch Heerscharen von Mikroorganismen. Man schätzt, dass eine Billiarde dieser Winzlinge in und auf einem erwachsenen Menschen leben. Das sind weit mehr als er eigene Zellen hat. Im Unterschied zu den Zellen, die unlöslich zum Verbund Mensch gehören und auch von ihm versorgt werden, sind die Mikroorganismen eher als dessen Partner zu verstehen. Sie sind zwar auf der einen Seite von dem Organismus, dem sie zugehören, abhängig, auf der anderen Seite versorgen sie sich in dieser spezifischen Umwelt eigenständig. Zu ihrem Dasein gehört, dass sie Nachkommen hervorbringen und selbst irgendwann sterben.

Die Vielfalt der Atome, Zellen und Mikroorganismen, die einen Menschen ausmachen, ist eine der Ursachen dafür, dass sich keine zwei Menschen völlig gleichen. Die Zellen und Mikroorganismen, die einen Menschen ausmachen, haben darüber hinaus ein eigenes Leben, das von inneren und äußeren Ereignissen beeinflusst wird. Die Bandbreite ihrer Einflussnahme auf den Gesamtorganismus ist riesig. Sie reicht von gering, wenn einzelne Zellen der Haut verletzt werden, bis lebensbedrohlich bei wuchernden Veränderungen des Gewebes, von eher vorteilhaft bei der Ansiedlung von verdauungsfördernden Bakterien im Darm bis hin zu tödlich, wenn sich Bakterien ansiedeln, die innere Organe zerstören. Die große Bandbreite an Auswirkungen, die Veränderungen an den Zellen des Organismus oder bei Mikroorganismen, die er beherbergt, haben können, ist eine der Ursachen dafür, dass auch der Verlauf des Lebens jedes Menschen einzigartig ist. Darüber hinaus können vielfältige äußere Ereignisse seinen Lebensweg beeinflussen, so dass dieser von Zufällen geprägt zu sein scheint. Die Summe der unvorhersehbaren Ereignisse macht sein Schicksal aus.

Was ist primär – Huhn oder Ei?

Was ist primär, das Huhn oder das Ei? Ohne ein Ei kann kein Huhn entstehen, ohne Huhn gäbe es jedoch kein Ei. Die Frage lässt sich offensichtlich nicht ohne weiteres beantworten, sie ist auch meist als Scherzfrage gemeint. Dabei hat sie durchaus einen ernsten Hintergrund, denn, wenn man das Ei als Sinnbild für den Bauplan des Huhns versteht, dann ergibt sich die Frage, ob der ideelle Plan oder dessen Materialisierung im Tier das Entscheidende, das Primäre ist. Je nachdem, wie man die Frage nach dem Primären beantwortet, muss man sich den idealistischen oder den materialistischen Strömungen der Philosophie zurechnen lassen. Deren Streit wehrte lange und ist wohl bis heute nicht

letztinstanzlich entschieden. Vielleicht lässt er sich auch gar nicht entscheiden, da es sich bei dem ideellen und dem materiellen Aspekt des Seins um zwei Seiten derselben Medaille, um einen dialektischen Gegensatz handelt.

Schauen wir uns zuerst an, wie sich der Gegensatz entwickelte. Ausgangspunkt allen Seins war der Urknall. In seiner Folge bildeten sich Atome, etwas später Sterne und Sternensysteme sowie unzählige andere Himmelskörper. All diesen Objekten oder Strukturen ist gemeinsam, dass sie aus Teilen bestehen und gleichzeitig selbst Bestandteile von übergeordneten Strukturen sind, die sich zudem in ständiger Bewegung respektive Veränderung befinden. Der Zusammenhang der Teile innerhalb einer Struktur wird durch Wirkungen begründet, die einige Teile über die eigenen Grenzen hinaus entfalten. Sie bilden das konstituierende Moment der jeweiligen Struktur, ihre verbindende Kraft. Die nach außen gerichteten Wirkungen der Teile geben gleichzeitig Kunde von ihrer Existenz, insofern sind sie Informationen. Da sie Veränderungen beziehungsweise Anpassungen bei anderen Teilen verursachen können, führen sie gegebenenfalls zu Veränderungen der von diesen Teilen ausgehenden Wirkungen, mithin der von diesen ausgehenden Informationen. Die materielle Seite, die Struktur wie auch die von ihr ausgehenden Wirkungen, und die ideelle Seite als Information über das eigene Sein bedingen einander, und sie beeinflussen sich gegenseitig.

Die Strukturen streben nach Stabilität, um ihre Fortexistenz zu sichern. Ihre Außenwirkungen sind darauf gerichtet, einen größeren Zusammenhang herzustellen, wodurch andere in ihrer Existenz beeinflusst werden. Da dies eine Eigenschaft aller Strukturen ist, gibt es keine, die nicht durch andere beeinflusst wäre. Das heißt, zur Existenz von Strukturen gehört ihr Drang

nach Stabilität genauso wie der Zwang, sich den sich ständig verändernden Gegebenheiten anzupassen. Dieser Zwang wurde zum Motor der Entwicklung, in deren Folge Atome entstanden, mancherorts auch Verbindungen zwischen ihnen. Auf Erden waren unter diesen Verbindungen Moleküle, deren Besonderheit darin bestand, dass sie nicht nur als Ganzes eine Außenwirkung entfalteten, sondern dass auch einzelne ihrer Abschnitte spezifische nach außen gerichtete Wirkungen aufwiesen. Bei einigen dieser Moleküle ergänzten sich diese Wirkungen derart, dass sie zur Duplizierung, mithin zur Vermehrung der Moleküle führten. Als es diesen Molekülen auch noch gelang, sich mit anderen zu einem von der Außenwelt abgeschirmten Ganzen, einer Zelle, zu vereinen, starteten sie in eine neue Etappe der Naturgeschichte. Leben war entstanden. Für die Vermehrung war jetzt allerdings nicht mehr nur das ursprüngliche Molekül, sondern die gesamte Zelle zu vervielfältigen. Das heißt, die von einem Teil, dem Kernmolekül, ausgehenden Wirkungen mussten einen Prozess steuern, der zur Duplizierung des Ganzen führte. Dafür musste das Kernmolekül den Bauplan der gesamten Zelle einschließlich der Informationen zur Steuerung der Vervielfachung in sich tragen. Mit der Konzentration der Informationen für den Bau der Zelle in einem ihrer Teile wurde die direkte Verknüpfung von ideellem und materiellem Aspekt, wie sie für die unbelebte Natur typisch ist, ein Stück weit aufgelöst.

Für die Vermehrung der Zellen sind unter anderem komplexe Eiweiße erforderlich, die nicht in einem Schritt synthetisiert werden können. Das Kernmolekül veranlasst deshalb die Synthese von einfachen Eiweißen, die ihrerseits die Bildung der für den Zellaufbau nötigen komplexen Eiweiße bewirken. Die einfachen Eiweiße tragen also einen Teil der für die Vermehrung

erforderlichen Informationen. Sie agieren als Boten, die mit den von ihnen ausgehenden Wirkungen den Prozess der Zellbildung vorantreiben. Die Weiterleitung von Informationen auf einem materiellen Träger, der die zur Umsetzung der Information erforderlichen Wirkungen entfaltet, wurde zum Meilenstein der Evolution. Kein Lebewesen kommt ohne solche Botenstoffe aus. Ihr großer Vorteil ist der hohe Grad an Zuverlässigkeit, der durch die Einheit von Information und Wirkung entsteht. Ihr wichtigster Nachteil ist das vergleichsweise geringe Tempo, mit dem die Informationen weitergeleitet werden. Tiere brauchen jedoch eine Vielzahl von Informationen über die Außenwelt, die sie in kürzester Frist auswerten müssen, um sich zielsicher bewegen zu können. Botenstoffe sind dafür zu langsam, Energieimpulse sind deutlich schneller. Für deren zielgerichteten Transport wird allerdings ein Leitungssystem aus Zellen gebraucht, die sich zu Impulsbahnen verbinden. Ein weiterer Nachteil ist, dass die elektrischen Impulse nur stärker oder schwächer ausfallen und damit eine Information über die Stärke des auslösenden Reizes übermitteln können. Sie vermögen jedoch nicht, weitergehende Informationen zu tragen. Daraus ergibt sich die Frage, auf welche Weise der Inhalt der ursprünglichen Information erhalten bleiben kann.

Informationen über die Außenwelt entstehen in Sensorzellen. Jede Sensorzelle ist auf einen bestimmten Reiz, das heißt, eine bestimmte von außen kommende Wirkung spezialisiert. Sie reagiert auf den Reiz, indem sie einen elektrischen Impuls generiert, der über die Nervenbahnen zu einer Empfängerzelle transportiert wird. Die Empfängerzelle löst bei Eintreffen des Impulses eine in ihrem Bauplan festgelegte Reaktion aus. Durch die *direkte* Verbindung der spezialisierten Sensorzelle mit einer bestimmten Empfängerzelle bleibt die Information über die

Spezifik der registrierten äußeren Wirkung erhalten, obwohl der Impuls selbst diese nicht tragen kann. Es würde jedoch nicht ausreichen, dass eine Sensorzelle eine Empfängerzelle aktiviert, um einen ganzen Organismus in Aktion zu versetzen. Für eine solche Aktion müssen selbst in einfach strukturierten Lebewesen viele Zellen in einer bestimmten Reihenfolge aktiv werden. Diese Aktivierung wird durch ein neuronales Netz erreicht, das den von der Sensorzelle ausgehenden Impuls planmäßig im Organismus verteilt. Diese neuronalen Netze bilden die materielle Grundlage für die Aktionen der Tiere.

Im Laufe der Evolution entwickelten die Tiere immer neue Möglichkeiten der Bewegung beziehungsweise des Verhaltens, die ihnen eine flexible Anpassung an unterschiedliche respektive sich verändernde Bedingungen gestatteten. Sind mehrere Alternativen vorhanden, ist jedoch eine Entscheidung darüber erforderlich, welche von ihnen zur Ausführung kommen soll. Zur Fundierung einer solchen Entscheidung müssen möglichst viele Informationen über die Umwelt aber auch zur Verfassung des eigenen Körpers gesammelt und ausgewertet werden. Es erwies sich als vorteilhaft, sowohl die neuronalen Netze zur Steuerung der Bewegungen und des Verhaltens als auch die zu bewertenden Informationen an einem Ort, in einem Gehirn zu konzentrieren. Für die Bewertung der eingehenden Informationen ist allerdings ein Maßstab erforderlich. Einige solcher Maßstäbe sind tief in der Evolution verwurzelt, so dass sie mit dem Erbgut weitergegeben werden. Man muss sich die Bewertung von "süß" oder "sauer" nicht mühsam erarbeiten, man bekommt sie in die Wiege gelegt. Süß ist angenehm, weil nahrhaft, sauer weniger. Die Mehrzahl der Maßstäbe resultiert jedoch aus Erfahrungen, die, damit sie in den Entscheidungsprozess einfließen können, ebenfalls als materielle Strukturen im Gehirn gespeichert sein müssen.

Die Information einer Sensorzelle wird mit Hilfe eines elektrischen Impulses an eine fest zugeordnete Zelle im Gehirn weitergeleitet. Da dies viele Sensorzellen gleichzeitig tun, entsteht im Gehirn eine Struktur von aktivierten Zellen, ein neuronales Netz der aktuellen Information. In ähnlicher Weise sind Erfahrungen gespeichert. Das neuronale Netz der aktuellen Information und die Netze, die die Erfahrungen beinhalten, werden miteinander abgeglichen. Können ausreichend Übereinstimmungen einer aktuellen Situation mit einer Erfahrung festgestellt werden, verknüpfen sich die Netze und das der Erfahrung zugrundeliegende Verhaltensmuster wird aktiviert. Eine Entscheidung ist gefallen. Wahrnehmungen wie auch Erfahrungen sowie die daraus resultierenden Entscheidungen kann man als ideelle Prozesse begreifen. Ihre Träger sind materielle Strukturen in Form von neuronalen Netzen. Diese materiellen Strukturen werden wiederum durch die von den Wahrnehmungen ausgelösten Aktionen beeinflusst beziehungsweise verändert.

Erfahrungen, die zum Abgleich mit aktuellen Informationen herangezogen werden, sind zuvörderst eigene Erfahrungen. Tiere sind jedoch in der einen oder anderen Weise soziale Wesen, die sich auch Erfahrungen von Artgenossen zunutze machen können. Die besondere Stellung der Gattung Mensch ist unter anderem dadurch gekennzeichnet, dass sie vielfältige Wege der Kommunikation entwickelte, mit deren Hilfe der einzelne auf den in der Gemeinschaft vorhandenen Erfahrungsschatz zugreifen kann. Die Gemeinschaft gibt Erfahrungen aber auch aktiv an die Nachkommen weiter. Ein erfolgreicher Jäger wird die Heranwachsenden versammeln und ihnen seine Erlebnisse schildern, die sich wegen der emotionalen Färbung seines Berichts fest im Gedächtnis der Zuhörer verankern. Erfahrungen

über Zusammenhänge in Natur und Gesellschaft werden darüber hinaus in einer verallgemeinerten Form, als Wissen, verbreitet. Der Vorteil des Wissens besteht darin, dass es durch seinen abstrakten Charakter in unterschiedlichen Situationen helfen kann, erfolgversprechende Entscheidungen zu treffen. Da ihm meist die emotionale Färbung fehlt, ist für dessen Aneignung allerdings einige Anstrengung erforderlich, für die scheinbar nicht geboren ist.

Der Erfahrungsschatz einer Gemeinschaft wird von den Umständen geprägt, unter denen sie lebt. Dazu gehören neben den natürlichen Bedingungen auch Besonderheiten, die sich aus dem erreichten Stand der Entwicklung und der bisherigen Geschichte der Gemeinschaft herleiten. Das heißt, die entstandenen Verhältnisse drücken den in der Gemeinschaft vorhandenen Vorstellungen über das Leben ihren Stempel auf. Diese Vorstellungen prägen das Handeln der Menschen wie auch deren Zusammenleben und damit wiederum zukünftige Erfahrungen. Trotz dieses auf die Reproduktion der bestehenden Verhältnisse gerichteten Effekts vollziehen sich auch Entwicklungen, die die Lebensgrundlagen der Gemeinschaft verändern. Da die Erfahrungen und die aus ihnen erwachsenden Regeln Veränderungen oft nur ungenügend widerspiegeln, können sie zum Hemmschuh und zur Ursache von Konflikten werden. In jeder Gesellschaft gibt es jedoch Menschen, die die herrschenden Anschauungen in Frage stellen. Häufig ist es die junge Generation, die noch nicht in tradierten Denkmustern gefangen ist, die mit neuen Ideen aufbegehrt. Sie trägt damit zur Erneuerung respektive Anpassung der in der Gesellschaft herrschenden Vorstellungen an die sich verändernden Bedingungen bei.

In den modernen, sehr komplex gewordenen Gesellschaften werden Informationen sowie Erfahrungen, Wissen und Überzeugungen in vielfältiger Weise verbreitet. Wenn in früheren Zeiten ein bestimmtes Weltbild die Gesellschaft fast vollständig dominieren konnte, so ist dies heute eher selten der Fall. Vorboten dieser Entwicklung zeigten sich bereits während der Reformation, als mit Hilfe des Buchdrucks das Meinungsmonopol der katholischen Kirche gebrochen wurde. Durch den mit der Industriellen Revolution verbundenen technischen Fortschritt wurde es dann möglich, Nachrichten in Windeseile zu verbreiten, was die Presse zur vierten Gewalt im Ringen um politische Weichenstellungen werden ließ. Waren die Versuche der Mächtigen, den Zugang zu Informationen zu beschränken, schon zu dieser Zeit kaum mehr von Erfolg gekrönt, so sollten sie heute, durch die Vielfalt der Kanäle, über die Informationen Verbreitung finden, aussichtslos sein. Sind sie aber nicht, denn die Vielfalt der theoretisch erreichbaren Informationen führt dazu, dass der einzelne kaum mehr in der Lage ist, diese zu überblicken. Er muss auf eine Auswahl von Nachrichten zurückgreifen. Diese Nachrichten beinhalten jedoch nicht nur Fakten, sondern meist auch Bewertungen, die wiederum von den Interessen des Nachrichtengebers diktiert sind. Will man sich eine eigenständige Meinung bilden, braucht man nicht nur überprüfbare Fakten, sondern auch einen eigenen Maßstab für deren Bewertung. Diesen Wertemaßstab zu beeinflussen, ist eine Schlüsselfrage im Kampf um die Köpfe. Sie ist eine Machtfrage.

An vielen Stellen unserer Überlegungen wurde deutlich, dass sich materielle und ideelle Prozesse gegenseitig beeinflussen. Auf der einen Seite gibt jede materielle Struktur mittels ihrer nach außen gerichteten Wirkungen Kunde von ihrem Sein, auf der anderen Seite existiert kein Gedanke, keine Theorie, keine Nachricht ohne

eine materielle Struktur, in oder auf der sie gespeichert ist. Diese materiellen Strukturen können neuronale Netze genauso sein, wie Mikrochips oder die Seiten eines Buches. Im Umkehrschluss bedeutet das aber auch, dass prinzipiell jeder geistige Prozess mit materiellen Strukturen darstellbar sein muss. Noch vor einigen Jahren war es für mich unvorstellbar, dass man Maschinen bauen könnte, die einen Menschen in jeglicher Hinsicht ersetzen. Heute würde ich das nicht ausschließen. Schon jetzt ist es möglich, nicht nur motorische, sondern auch verschiedene geistige Fähigkeiten von Menschen auf Maschinen zu übertragen. Es wird nicht lange dauern, bis die Maschinen auch in diesem Bereich ihren Schöpfern in jeglicher Hinsicht überlegen sind. Und dann?

Einheit und Kampf der Gegensätze oder von Weibern und Männern

Je mehr ich über dieses Thema nachdenke, umso mehr drängt sich mir die Frage auf, ob es überhaupt einer theoretischen Betrachtung zugänglich ist. Jeder hat auf diesem Gebiet seine eigenen Erfahrungen, die nur bedingt verallgemeinerungsfähig sind. Zudem lauern allerorten Vorurteile, nicht zuletzt, weil beinahe jeder, der das Denken der Menschen zu beeinflussen suchte, seine Überzeugungen zu diesem Thema hinterlassen hat. Es geht halt um die wichtigste Frage des Lebens, um die der Fortpflanzung beziehungsweise der Erhaltung der Art. Um möglichen Fallstricken aus dem Weg zu gehen, werde ich mich auf die Frage konzentrieren, wie und warum überhaupt verschiedene Geschlechter entstanden sind. Schon bei ihrer Benennung wird es allerdings schwierig. Sie ist in der deutschen Sprache mit Männern und Frauen, Damen und Herren, oder Weibern und Kerlen nicht gerade eindeutig. Ich habe mich für die in der Biologie gebräuchliche Einteilung in männlich und weiblich entschieden.

Weiber und Männer sind unterschiedlich. Es gibt kleine, manchmal auch größere Details, die den Unterschied ausmachen. Gewöhnlich schließen sie einander aus, das heißt, man hat sie, oder eben nicht. Mann oder Weib, Punktum. Dass es keine Männer gäbe, wenn Weiber sie nicht gebären würden, ist selbstverständlich. Ebenso klar ist auch, dass eine weibliche Frucht nur wachsen kann, wenn das Ei von einem Mann besamt wurde. Das eine existiert nicht ohne das andere, sie bedingen einander. Gehen die Geschlechter auch ineinander über? Als Jugendlicher hätte ich bei einer derartigen Behauptung wohl einen Vogel gezeigt. Heute kann man sich im Internet von der Vielfalt der "Übergänge" ein Bild machen. Um zu zeigen, dass beide Geschlechter auch identische Merkmale besitzen, braucht man indes keine Internetrecherche, denn Weiber und Männer sind Menschen, irgendwie. Die Unterschiede im Körperbau sind im Vergleich zu den Gemeinsamkeiten fast zweitrangig. Beide werden zudem mit Lust gezeugt und unter Schmerzen geboren, um dann nach einem lust- und schmerzvollen Lebensweg dahinzuscheiden, möglichst nicht ohne ihrer Bestimmung entsprochen und Nachkommen hervorgebracht zu haben. Bei dem Aufwand, der mit der Partnerwahl betrieben wird, entsteht allerdings die Frage, warum so viel kostbare Energie aufgewendet wird, um den "richtigen" Partner zu finden und sich mit ihm zu vereinen, wo doch Vermehrung auch auf einfachere Weise zu haben wäre.

Für diese Frage müssen wir in die Naturgeschichte, hier in die Geschichte der Vermehrung, eintauchen. Die Ursprünge des Lebens gehen auf die Fähigkeit von Molekülen zurück, abhanden gekommene Teile ihres Verbunds aus eigenem Antrieb zu ersetzen und so die Existenz des Ganzen zu sichern. Die Nukleinsäuren besitzen diese als Basenpaarung bekannte

Fähigkeit. Mit ihrer Hilfe können aus einem geteilten Molekül zwei baugleiche Nachfolger entstehen. Diese ursprünglichste Art der Vermehrung hat allerdings zur Voraussetzung, dass das Molekül durch eine äußere Wirkung geteilt wird. Sie ist damit vom Zufall abhängig. Für eine gezielte Vermehrung musste das Molekül selbst in der Lage sein, eine Teilung herbeizuführen. Die Ribonukleinsäure (RNA) kann auch diese Fähigkeit vorweisen, was sie dazu prädestinierte, zum Kern von vermehrungsfähigen Zellen zu werden. Teilung und erneute Komplettierung sind jedoch nicht nur für Einzeller ein unverzichtbarer Teil ihrer Überlebensstrategie, auch viele Pflanzen und einige einfache Tierarten bedienen sich dieser zuverlässigen Form der Vermehrung. Deren Nachteil besteht darin, dass die Nachkommen reine Kopien der Vorlage sind. Eine Anpassung des Erbguts an sich verändernde Bedingungen oder an neue Lebensräume ist auf diese Weise nicht möglich. Sie kann nur durch Fehler bei der Reproduktion, durch Mutationen, entstehen. Eine Anpassung durch Mutation ist jedoch in doppelter Hinsicht zufällig, erstens, weil schon das Auftreten einer Mutation von Zufällen abhängt, und zweitens, weil diese dann auch noch eine überlebensfähige Variante hervorbringen muss.

Wäre die Mutation die alleinige Möglichkeit für Veränderungen im Erbgut geblieben, dann wären die Einzeller wahrscheinlich noch immer die einzigen Lebewesen auf diesem Planeten. Bereits einfache Atome und Moleküle können jedoch nicht nur immer gleiche Verbindungen reproduzieren, viele von ihnen gehen auch schon mal mit neuen Partnern Verbindungen ein, so dass anders strukturierte Moleküle entstehen. Warum sollte das nicht auch für jene Moleküle gelten, die die Erbinformationen tragen? Tatsächlich bildeten sich Wege heraus, auf denen unterschiedliche Erbinformationen miteinander kombiniert

werden konnten. Einzellige Lebewesen sind beispielsweise in der Lage, Erbmaterial, das aus fremden, abgestorbenen Zellen stammt, in sich aufzunehmen, das heißt, in die Zelle zu transformieren. Durch das Hinzufügen dieses Erbmaterials kann unter Umständen die eigene Vitalkraft gestärkt werden, vielleicht entstehen sogar neuartige Wesen. Allerdings muss wieder der Zufall helfen und nützliche Gensequenzen in die Reichwerte einer aufnahmebereiten Zelle bringen. Sicherer wäre es, wenn, die Zellen gezielt fortschrittverheißende Erbanlagen austauschen würden. Dazu müssen die entsprechenden Gensequenzen von einer "fortschrittlichen" Zelle auf eine Empfängerzelle übertragen werden. Diese als Konjugation bezeichnete Methode hat wiederum den Nachteil, dass sich ein Weg eröffnet, den auch andere, Viren zum Beispiel, nutzen könnten, um Erbinformationen in eine Zelle einzuschleusen. Das führt dann zwar auch zu einer Vermehrung, aber nur der des Eindringlings. Offensichtlich überwogen jedoch die Vorteile der Konjugation, denn die gezielte Verschmelzung von Erbinformationen wurde zum Königsweg des Lebens bei der Anpassung an neue beziehungsweise sich verändernde Bedingungen.

Viele der auf der Erde entstandenen Einzeller waren gesellige Wesen. Sie bildeten Kolonien, wohl, weil die Gemeinschaft Vorteile im Überlebenskampf bot. Aus diesen Kolonien gingen Organismen, also Verbände von Zellen hervor. Organismen sind dadurch gekennzeichnet, dass sich die beteiligten Zellen auf unterschiedliche Aufgaben spezialisieren, um so dem Ganzen zu dienen, von dem sie gleichzeitig abhängig werden. Die Zellen, die einen Organismus bilden, geben die Fähigkeit zur Vermehrung durch Teilung und Komplettierung nicht auf. Sie bleibt für die Regeneration des Organismus unverzichtbar. Bei einem komplexen Ganzen ist es jedoch möglich, dass äußere Einflüsse

nicht nur einzelne Zellen schädigen, sondern Teile vom Organismus abtrennen. Um ein solches Ereignis zu überleben, braucht der Organismus die Fähigkeit, die nun fehlenden Teile zu ersetzen. Dafür muss der Bauplan des Ganzen, wie auch die Information über den Prozess der Komplettierung, überall, am besten in jeder Zelle, verfügbar sein, schließlich kann jedes Teil verlustig gehen. Darüber hinaus werden Zellen benötigt, die noch nicht auf eine bestimmte Aufgabe spezialisiert sind, so dass sie sich im Schadensfall vermehren und nach einer Modifikation den Platz der abhanden gekommenen Spezialisten einnehmen können. Mit dieser Fähigkeit ausgestattet, ist der Regenwurm in der Lage, abgetrennte Teile seines Körpers zu ersetzen. Bei vielen Pflanzen können aus abgetrennten Teilen sogar komplette Nachkommen entstehen. Diese Nachkommen sind Klone, das heißt, sie sind in ihren Erbanlagen mit dem Organismus, von dem sie stammen, identisch, so dass eine Anpassung an sich verändernde Bedingungen neuerlich nur durch Mutationen erfolgen kann.

Bewährte Fähigkeiten, wie die Transformation und die Konjugation von Erbmaterial, werden von der Natur jedoch nicht so schnell aufgegeben. Sie wurden auch für Organismen zur Möglichkeit, neue Varianten ihrer selbst hervorzubringen. Doch wie kommen die Organismen zwecks Austausch von Erbmaterial zueinander und wie bewerkstelligen sie dessen Vereinigung? Organismen sind in Kolonien gleichartiger Einzeller entstanden. Die Einzeller finden zueinander, weil sie Moleküle oder Teile von diesen an die Umwelt abgeben, die von Artgenossen "erkannt" und als Kompass zur Annäherung genutzt werden. Auf die gleiche Weise können auch jene Organismen zueinanderfinden, deren Erbmaterial verschmolzen werden soll. Das für einen Austausch erforderliche Erbmaterial ist, wie wir bereits wissen, in jeder Zelle

vorhanden. Nicht jede Zelle darf sich jedoch in den Prozess der Vermehrung einmischen, denn Organismen basieren auf Arbeitsteilung. Da die Konjugation darauf beruht, dass das abzugebende Erbmateriale in eine aufnahmebereite Zelle eindringt, mussten die Zellen, die sich auf die Vermehrung spezialisierten, zwei Varianten hervorbringen: eine, die in die andere eindringt und eine, die den Eindringling empfängt und dessen Erbmateriale aufnimmt. Wir nennen den Eindringling männlich (Spermazelle) und die empfangende Zelle weiblich (Eizelle). Für den Eindringling ist es wichtig, dass er sich auf irgendeine Weise bewegen kann, muss er seinem Ziel doch aus eigenem Antrieb nahekommen. Die empfangende Zelle wiederum soll den Nachwuchs hervorbringen, das heißt, sie muss Stoffe bevorraten, die dessen Wachstum sichern. Die mit dieser Arbeitsteilung entstehende geschlechtliche Fortpflanzung machte die anderen Formen der Vermehrung jedoch nicht überflüssig. Teilung und Kompletierung blieben weiterhin unverzichtbar. Pflanzen bringen auf diesem Wege neue Triebe hervor. Sie können durch das Kopieren ihrer selbst auch in neue Lebensräume vorstoßen. Tiere wiederum können mit Hilfe dieser Fähigkeit lebenswichtige Organe regenerieren. Die Fähigkeit, abhanden gekommene Körperteile zu ersetzen, ist bei den meisten von ihnen allerdings verlorengegangen. Vielleicht war sie nicht wichtig genug, um den dafür erforderlichen Aufwand zu rechtfertigen.

Nun wissen wir zwar, dass sich für eine geschlechtliche Fortpflanzung eine männliche und eine weibliche Zelle vereinen müssen, doch wie kommen sie zueinander? Wir sahen bereits, dass alle Annäherungsprozesse mit dem Identifizieren von Atomen respektive Molekülen, die von Artgenossen abgesondert werden, beginnen. Man kann davon ausgehen, dass auch die auf

die Vermehrung spezialisierten Zellen auf diese Weise zueinanderfinden. Das Finden des Partners ist aber nur das eine, das andere ist, dass sie sich auch einander annähern müssen. Dazu muss sich mindestens eine der beiden Zellen, die männliche nämlich, bewegen. Da das Leben im Wasser entstand, wurde diese Fähigkeit für eine feuchte Umgebung ausgebildet. Die Energiereserven der Winzlinge sind jedoch viel zu gering, um größere Entfernungen aus eigener Kraft zurückzulegen. Es wurden Alternativen gebraucht. Pflanzen nutzen die Bewegungen des Wassers für die Annäherung der Zellen. Tiere besitzen in der Regel die Fähigkeit, sich eigenständig fortzubewegen, so dass sie den Samen selbst nahe an die Eizellen bringen können. Den Rest schaffen die Samenzellen dann aus eigener Kraft.

Als das Leben das Festland eroberte, waren Anpassungen erforderlich. Die Anpassung der Pflanzen bestand darin, dass sie sich nun dem Wind anvertrauten, damit er die Samenzellen beziehungsweise die Keimlinge verbreiten möge. Der große Coup gelang ihnen, als sie Tiere, vor allem Vögel und kleine Krabbeltiere, für ihre Zwecke einzuspannen lernten. Diese werden mit süßem Nektar angelockt, um ihnen beim Naschen die Pollen anzuheften. Sie tragen diese dann weiter, bevorzugt zu Pflanzen gleicher Art, weil ihnen diese mit ihrem Geruch oder Aussehen vertraut sind und weil sie dort eine weitere süße Gabe erwarten. Manche Pflanzen bildeten Früchte aus, um Tiere anzulocken, damit sie durch deren Verzehr die Keimlinge verbreiten.

Apropos Geruch, aus der Fähigkeit der Wasserlebewesen, abgesonderte Partikel von Artgenossen zu erkennen, entwickelte sich bei den Tieren, die das Festland eroberten, der Geruch, also das Erkennen von Partikeln, die durch die Luft herangeweht werden. Haben sich mit seiner Hilfe zwei potenzielle Partner

gefunden, müssen die auf die Vermehrung spezialisierten Zellen, also Eizelle und Samenzelle, zueinander gebracht werden. Die Fähigkeit zur Bewegung hatten die Samenzellen jedoch für eine feuchte Umgebung ausgebildet, die an Land nicht weiterhalf. Die Evolution fand auch für dieses Problem eine Lösung. Die Eizellen verblieben im Körper des weiblichen Tieres und dort in einer feuchten Umgebung, während die ebenfalls in Feuchtigkeit schwimmenden Samenzellen in diesen eingebracht werden. Für das Einbringen der Samenzellen in den weiblichen Körper bildeten sich geschlechtsspezifische Organe aus. Sind die Samenzellen erst einmal in die Nähe der Eizelle gebracht, finden sie ihren Weg.

Es bleibt die Frage, warum zwei Organismen kostbare Energie für die Partnerfindung und den Akt der Vereinigung verausgaben, wo sie doch selbst keinen direkten Vorteil aus dieser Anstrengung ziehen? Bei einfacheren Tierarten löst ein bestimmter Reiz direkt ein im Erbgut festgelegtes Verhaltensmuster aus. Das gilt auch für die Vermehrung. Mit anderen Worten, sie haben gar keine Wahl, sie müssen bei Registrierung eines entsprechenden Reizes das Ihrige zur Vermehrung beitragen. Für Tierarten, die mit unterschiedlichen Verhaltensmustern reagieren können, ist ein Anreiz erforderlich, damit sie in Aktion treten. Werden Geruchspartikel eines potenziellen Partners wahrgenommen, veranlasst das Gehirn deshalb die Ausschüttung von Botenstoffen, die einen Trieb zur Vereinigung, den Geschlechtstrieb, hervorrufen. Dieser ist sehr dominant, so dass er bei Entscheidungen zum Verhalten kaum übergangen werden kann. Nur außergewöhnliche Gefahren können stärker sein und das Verhalten in eine andere Richtung lenken. Nach einer erfolgreichen Kopulation werden wiederum Botenstoffe ausgeschüttet, die, als Belohnung ein Wohlgefühl erzeugen. Zuckerbrot und Peitsche, wir kennen das schon.

Eigentlich ist damit alles Wesentliche gesagt. Na ja, mag mancher denken, bei uns Menschen ist das doch irgendwie anders, oder? Eigentlich nicht. Alles Grundlegende spielt sich auch bei Menschen genauso ab, weshalb die Vereinigung der Geschlechter schon mal als animalischer Akt beschrieben wird. Neben dem Geruch, der Aufschluss über die genetische Verfasstheit und Potenz gibt, spielen bei der Partnerwahl der Menschen allerdings auch Faktoren wie physische Stärke, der Klang der Stimme oder die Anmut der Bewegungen eine Rolle. Genau besehen, ist das jedoch bei vielen Tieren ebenso. Wenn wir also die Besonderheiten der Menschen bezüglich der Partnerwahl benennen wollen, dann müssen wir uns wieder der Eigentümlichkeiten, mit denen sie sich von anderen Tieren abheben, erinnern. Wesentliche Unterschiede sind mit der Sprache verbunden. Sie spielt auch bei der Partnergewinnung eine große Rolle.

Die Sprache hat nicht nur für den Kontakt der Geschlechter große Bedeutung, sie prägte auch die Entwicklung der menschlichen Gemeinschaften. Deren Verfasstheit hat wiederum Einfluss auf die Art und Weise der Partnerwahl. Für die Urgesellschaften war die Solidarität in der Gemeinschaft überlebenswichtig. Ihr musste sich auch die Partnerwahl unterordnen. Das schloss nicht aus, dass eine auf physischen Merkmalen basierende Hackordnung zum Tragen kam. Wählte die Gruppe nur Partner aus den eigenen Reihen, konnte man sich bald nicht mehr „riechen“. Frisches Blut wurde gebraucht, sei es in Raubzügen erbeutet oder friedlich zwischen den Sippen und Stämmen getauscht. Als die Menschen sesshaft wurden, veränderte sich vieles. Das Eigentum an Dingen und die mit ihm verbundenen Interessen drückten den Gesellschaften, darunter auch den Beziehungen zwischen den Geschlechtern, ihren Stempel auf. Die engere, vom Herrn des

Hauses dominierte Familie wurde zur prägenden Gemeinschaft, zum Hort des Eigentums. Das spiegelte sich in den herrschenden Überzeugungen zur Familie wider, deren Stabilität nun als "heilig" galt. Ehebruch des Weibes war ein Verbrechen gegen dieses Eigentum und damit eine unverzeihliche Sünde, die nicht selten mit dem Tode bestraft wurde. Die Partnerwahl war also nicht auf die besten Gene fokussiert, sie ging auch nicht vom Weibe aus. Männer waren es, die durch die Ehe nicht nur Erben hervorbringen, sondern auch ihre gesellschaftliche Stellung aufwerten und ihr Vermögen vergrößern wollten. Im Zuge der Industriellen Revolution setzten Entwicklungen ein, die die scheinbar festgefühten gesellschaftlichen Strukturen aufbrachen. Neben Reichtum und Macht wurden Faktoren wie Aussehen, Tatkraft und gesellschaftliches Ansehen wichtiger für die Partnerwahl. Durch die aktivere Teilnahme der Frauen am gesellschaftlichen Leben verstärkte sich zudem deren Wunsch nach einem Partner, der ihr Streben unterstützte. Dieser Wunsch geriet und gerät allerdings häufig in Widerspruch zur biologischen Prägung, einen starken und potenten Mann für die zu zeugenden Nachkommen zu finden.

Wir könnten es dabei bewenden lassen, wäre da nicht noch die Überschrift, die mit "Einheit und Kampf der Gegensätze" beginnt. Diese Formel meint nichts anderes als, dass die Seiten eines Gegensatzes zwar unterschiedlich sind, das heißt, sich gegenseitig ausschließen, dass sie aber auch einander bedingen und sich wechselseitig beeinflussen. Sie bilden eine Einheit und sie bekämpfen sich. Ich gebrauche dieses Wortpaar für die Charakterisierung eines Gegensatzes nicht gern, da beide Begriffe eine emotionale Färbung besitzen, die leicht zu Missverständnissen führt. Für die von Gefühlen geplagten

Beziehungen zwischen Weibern und Männern mögen sie indes brauchbar sein.

Jedem Anfang folgt ein Ende

Der Tod ist das Ende, oder ist er ein Anfang?

Es gibt nur Weniges, was die Menschen von Beginn an so beschäftigte, wie der Tod. Er war allgegenwärtig. Wollte man selbst überleben, musste man töten, denn ohne die Jagd wären unsere Vorfahren irgendwann verhungert. Gleichzeitig mussten sie auf der Hut sein, um nicht selbst Beute zu werden. Selbst, wenn sie nicht von Raubtieren gefressen wurden, konnten sie durch einen Unfall, durch Mangel an Nahrung oder durch Krankheiten zu Tode kommen. Auf der anderen Seite wurden immer wieder Nachkommen geboren und großgezogen. Die Menschen waren also Teil einer ewigen Abfolge von Leben und Sterben, von Werden und Vergehen.

Als sich die intellektuellen Fähigkeiten der Menschen und mit ihnen ihr Wissen und ihre Erfahrungen entwickelten, stellten sie sich immer öfter Fragen nach den verborgenen Gründen für die Geschehnisse um sie herum, nach dem woher und wohin ihres Seins. Woher kam diese Welt mit den Menschen darin und wo blieben die Menschen nach dem Tode? Diese Fragen ließen sich nicht direkt, aus den praktischen Erfahrungen ihres Alltags, beantworten, und doch waren es diese Erfahrungen, die sie Antworten finden ließen. Eine Erfahrung war, dass ihr Tätigsein Folgen hatte. Steine konnte man behauen und auf diese Weise ein scharfkantiges Werkzeug erhalten. Hatte man ein Feuer, wurden Raubtiere ferngehalten und man konnte sich den Rücken wärmen. Es schien also folgerichtig zu sein, dass auch für die Erscheinungen in der Natur jemand mit seinem Wirken

verantwortlich ist. Da man diesen jemand nicht sehen konnte, musste es ein Wesen sein, das außerhalb ihrer Erfahrungswelt stand, eine Gottheit eben. Diese Antwort wie auch die Überlegungen zu vielen anderen Fragen, die sie bewegten, wurden Bestandteil ihrer Anschauungen über die Natur und das Leben. Sie wurden ihre Religion, die sie an die Nachkommen weitergaben.

Eine bei fast allen Völkern zu findende Überzeugung ist, dass ein wie auch immer gestalteter Gott die Welt und die Menschen erschaffen haben muss. Womöglich war ein Gott auch für die Toten zuständig, die unter seiner Ägide an einem Ort existierten, der für die Lebenden nicht zugänglich war. Solch ein Ort konnte sich im Innern der Erde befinden oder in einem unbekanntem Gebiet auf deren Oberfläche, vielleicht auch auf der Unterseite der Erdscheibe oder gar im Himmel. Die Vorstellungen, die zum Wirken der Götter entwickelt wurden, mögen anfangs vage gewesen sein, im Laufe der Zeit wurden jedoch immer mehr Details hinzugefügt, nicht zuletzt, weil auch die Gesellschaften, in denen die Menschen lebten, größer und vielschichtiger wurden. In ihren Gemeinschaften hatte man irgendwann einzelnen besondere Aufgaben übertragen, da sie sich durch spezielle Fähigkeiten und Talente auszeichneten. Es war daher anzunehmen, dass es auch unter den Göttern eine Arbeitsteilung gab, die man kennen musste, wenn man sich mit seinen Bitten an den richtigen Gott und in der ihm genehmen Art und Weise wenden wollte. Gleichzeitig waren neue Fragen aufgetaucht. Eine dieser Fragen war, wie man ins Reich der Toten eingehen würde? Der Körper, das wusste man, zerfällt, bis nichts als Erde oder Asche übrigbleibt. Würde man im Reich der Toten ohne Körper sein? Wahrscheinlich war es besser, den Körper zu erhalten, zum Beispiel indem man ihn einbalsamierte. Dann war da die Frage,

ob im Reich der Toten alle Menschen gleich sein würden. Für Pharaos war das unvorstellbar. Er ließ riesige Grabmäler errichten, die ihm mit ihren Beigaben auch dort, im Reich der Toten, eine besondere Stellung sichern würden. Die Hierarchien mussten im Jenseits erhalten bleiben, sonst würde man sie im Diesseits womöglich in Frage stellen. Für die Bauern hatte die Sorge um ein Leben nach dem Tod wahrscheinlich keine vergleichbare Bedeutung, hatten sie doch mit dem täglichen Kampf ums Überleben genug zu tun. Dieses Überleben hing stark von den Launen der Natur ab, weshalb es ihnen wichtiger schien, mit den Göttern, die in der Natur wirkten und die für den Ertrag ihrer Arbeit, aber auch für Krankheiten und andere Plagen, verantwortlich waren, Zwiesprache zu halten und sie gnädig zu stimmen.

Während man im alten Ägypten und in anderen Kulturen dieses Zivilisationskreises annahm, dass die Verstorbenen in ein Reich der Toten einziehen würden, hatte sich bei den Menschen im Fernen Osten die Überzeugung erhalten, dass alle Lebewesen Teil eines immerwährenden Kreislaufs von Werden und Vergehen sind. Dafür brauchte es keinen Gott. Demnach musste es noch etwas anderes geben, das göttlichen Ursprungs war, etwas, das den Geist der Menschen, wir würden sagen ihre Seele, ausmacht. Diese Seele wird auf die Welt geschickt, um Erfahrungen zu sammeln und sich Schritt für Schritt zu vervollkommen. Reicht die Spanne eines Lebens dafür nicht aus, kann sie nochmals auf die Erde gesandt werden, um ihren Weg im Körper eines anderen Lebewesens fortzusetzen. Sie wird wiedergeboren. Ist die Wiedergeburt ein Segen oder eine Strafe? Da für die Bauern das Leben mehr Mühsal als Labsal bereithielt, gingen sie wahrscheinlich davon aus, dass eine Wiedergeburt eine Strafe sei. Man konnte dieser Strafe nur entgehen, wenn man ein den

Göttern gefälliges Leben führte. Da eine Wiedergeburt auch in Tiergestalt möglich schien, galt es darüber hinaus, sorgsam mit den Tieren umzugehen. Das galt jedoch nicht für alle Tiere gleichermaßen. Es gab unter ihnen einige, die besondere Beachtung verdienten und als Gott oder gottähnlich zu lobpreisen waren. Andere galten als minderwertig. Wenn die Wiedergeburt schon einer Strafe gleichkam, dann musste die Wiedergeburt in einem minderwertigen Tier große Schmach bedeuten. Die Androhung einer solchen Strafe ließ vor Angst erschauern.

Die Angst der Menschen wurde in allen Epochen von den Herrschenden als Mittel zur Aufrechterhaltung ihres Machtanspruchs benutzt. Je abstrakter dieser Machtanspruch wurde, weil er sich immer weniger aus der unmittelbaren Lebensnotwendigkeit des einzelnen ergab, desto drastischere Strafen wurden angedroht, um mit der Angst vor diesen Strafen die "gottgegebene" Ordnung aufrecht zu erhalten. Manchmal war die Not der Menschen jedoch so groß, dass alle Strafen ihren Schrecken verloren und nur der Tod Erlösung versprach. Eine solche Situation konnte einen verzweifelten Aufstand gebären, den die Herren niederschlagen mussten, sollte ihre Macht nicht gefährdet werden. Der damit womöglich verbundene Tod von Sklaven oder Bauern war im höchsten Maße unerfreulich, bedeutete er doch den Verlust von Arbeitskräften, die die Herren dringend für die Mehrung ihres Wohlstands brauchten. Selbst wenn keine Rebellion ausbrach und die Gepeinigten lieber den Freitod wählten, als weiter die Qualen ihres Daseins zu erdulden, hatte dies für die Herren wirtschaftliche Einbußen zur Folge. Da man die Todeswilligen nicht mit der Angst vor körperlichen Strafen schrecken konnte, mussten andere Geschütze aufgefahren werden, um sie vom Freitod abzuhalten. Eine

Bestrafung nach dem Tode schien geeignet, die dafür erforderliche Angst zu erzeugen.

Es schien den Menschen durchaus plausibel, dass nach dem Dahinscheiden ein Richter ihr Leben bewerten würde. Diejenigen, die Gutes getan hatten, würden belohnt und die Sünder schrecklich bestraft werden. Welche Taten als gut und welche als Sünde zu bewerten waren, ergab sich aus den überlieferten Regeln des Zusammenlebens und, wie sollte es anders sein, aus den Interessen der Herrschenden. Der Freitod von hörigen Bauern war mit diesen Interessen nicht vereinbar. Er wurde als Selbstmord geächtet. Ein solches Verbrechen führte zum Ausschluss aus der Gemeinschaft der Gläubigen und sollte ewige Verdammnis nach sich ziehen. Jahrtausende hatte der Freitod zum Leben gehört, denn er war nicht selten das letzte Mittel, um das Überleben der Nachkommen zu sichern, nun, da er die Interessen der Herrschenden berührte, wurde er zum Kapitalverbrechen erklärt.

Der Tod von Kriegerern war dagegen höchster Ehre wert. Dies galt nicht nur für jene, die einen Überfall abgewehrt hatten, sondern auch für jene, die im Auftrag ihrer Herren andere Länder überfielen. Aber, warum zogen Menschen überhaupt in den Krieg und riskierten ihr Leben, wenn sich ihre Familien gar nicht in unmittelbarer Gefahr befanden? Einige taten es für Geld. Berufsarmeen waren allerdings kostspielig und meist nur mäßig motiviert. Echte Motivation erwuchs nur aus der Zugehörigkeit zu einer Gemeinschaft, für die man Verantwortung fühlte. In der Sippe wurde diese Zugehörigkeit durch die familiären Bande begründet, in größeren Gemeinschaften kamen die gemeinsame Sprache, aber auch gleiche Traditionen und Anschauungen, oft gebündelt in einer gemeinsamen Religion, als verbindende Elemente hinzu. Alle, die diese Überzeugungen teilten, konnten

Teil der Gemeinschaft sein, alle anderen blieben ausgeschlossen. Wenn sie im Diesseits nicht zur Gemeinschaft gehörten, musste dies selbstverständlich auch im Jenseits gelten. Nun war es nur noch ein kleiner Schritt hin zur Überzeugung, dass einzig der eigene Glaube der wahre Glaube sei, der nach dem Tod einen Platz im Reich Gottes sicherte, während alle Andersgläubigen der ewigen Verdammnis anheimfallen würden. Wenn sie im Jenseits verdammt waren, musste man sie auch im Diesseits nicht schonen. Sie zu töten, würde gottgefällig sein und den Glaubenskriegern einen Ehrenplatz im Jenseits sichern. Das versprachen alle Kriegsparteien, versteht sich.

Die Auferstehung der Menschen nach dem Tod und ihr Eingehen in ein Reich Gottes war eine tröstliche Verheißung, für die es sich lohnte, die gegebenen Regeln zu achten. Die Vorstellung, alle Menschen, die jemals gelebt haben, würden sich in einem Jenseits tummeln, barg jedoch ein Problem, denn man hatte bereits verstanden, dass dies eine unvorstellbar große Zahl sein musste, die kaum irgendwo Platz fände. Außerdem wurden nicht alle Toten einbalsamiert, die meisten verwesten in der Erde oder in Höhlen, manche verbrannten zu Asche. Sollte dies Auswirkungen auf das Sein im Jenseits haben? Darüber hinaus war körperliche Versehrtheit für viele Menschen eine den Alltag beschwerende Erfahrung. Würde sie auch das Sein im Jenseits zeichnen? Vielleicht gab es ja eine ganz andere Erklärung, nämlich, dass nicht der ganze Mensch ins Jenseits einzog, sondern nur seine Seele, die in ein Himmelreich auffahren würde. Voraussetzung für den Einzug in dieses Himmelreich war, dass der Mensch nach den verkündeten Regeln lebte, denn sonst würde die Hölle mit ewig währenden Strafen auf ihn warten. Nur, wer ist schon ohne Sünde? Zum Wohle der Sünder, und zum Nutzen des eigenen Geldsäckels, eröffnete Päpste den Christen die

Möglichkeit, sich von ihren Sünden freizukaufen. Dass damit wieder die Angst der Menschen vor den Ungewissheiten des Todes zum eigenen Nutzen eingesetzt wurde, empörte die christlichen Reformen. In ihren Lehren ersetzten sie den gestrengen Richter, der an der Schwelle zum Jenseits über das Schicksal der Gestorbenen entschied, durch einen barmherzigen Gott, der allen Menschen Seelenheil versprach. Hoffnung sollte sie auf ihren letzten Weg geleiten, nicht Angst.

Warum sterben wir überhaupt? Täglich erneuern sich Millionen unserer Zellen, sie sterben ab und werden neu gebildet. Knochenbrüche heilen und Verletzungen der Haut schließen sich. Selbst innere Organe können sich nach einer Schädigung in gewissem Umfang regenerieren. Sollte es nicht möglich sein, das Sterben von Menschen zu verhindern? Unabhängig von der Frage nach der Machbarkeit stellen sich an dieser Stelle grundsätzliche Fragen zum Verhältnis von Leben und Tod.

Leben und Tod schließen einander aus, denn alles, was lebt, kann nicht tot sein, und was tot ist, lebt nicht mehr. Würde nichts und niemand sterben, wäre auch Leben bald unmöglich. Pflanzen brauchen für ihr Wachstum nicht nur die Energie der Sonne, sondern auch vielfältige Stoffe, die sie aus der Erde ziehen. Würde keine Pflanze sterben, wären diese Ressourcen bald erschöpft. Tiere sind in ihrer Existenz noch viel direkter vom Tod abhängig, denn sie müssen, um zu überleben, andere Tiere oder Pflanzen töten. Ohne Leben gäbe es keinen Tod und ohne Tod kein Leben. Tod und Leben sind jedoch nicht so klar voneinander abgegrenzt, wie es den Anschein hat. In einem lebenden Organismus sterben ständig Zellen und neue werden gebildet. Auch für einen toten Organismus gilt, dass nicht alle Zellen ihre Lebenstätigkeit sofort einstellen. Einige sind noch eine ganze Zeit aktiv. Außerdem gehen auf und in dem toten Organismus sehr lebendige Mikroben

ans Werk und zerlegen den einst so stolzen in einfache Strukturen. Hinzu kommt, dass das eine oder das andere Atom, das Bestandteil dieses Lebens war, im Laufe der Zeit vielleicht wieder in eine Zelle gelangt und als Teil eines neuen Organismus „wiedergeboren“ wird. Man kann also sagen, der Tod ist die Basis des Lebens und das Leben überwindet den Tod, in dem es sich neu organisiert. Würde man das Sterben verhindern, könnte wegen der Begrenztheit der Ressourcen bald nichts Neues mehr entstehen. Kann nichts Neues entstehen, dann würde auch die Anpassung und Weiterentwicklung der Arten unmöglich werden. Da sich die Umwelt permanent verändert, würde ein nicht anpassungsfähiges Leben unweigerlich untergehen. Das heißt, der Tod, oder besser die Abfolge von Werden und Vergehen, ist die Voraussetzung dafür, dass das Leben fortbesteht.

Das mag allgemein für die Natur richtig sein, aber warum sollte es für die Menschen gelten? Biologische Prozesse werden immer besser verstanden und beherrscht, so dass es sicher irgendwann möglich sein wird, auch den Alterungsprozess aufzuhalten. Sollte es nicht ein hehres Ziel sein, Menschen unsterblich zu machen? Es käme wohl eher einer Katastrophe gleich, nicht nur, weil die Ressourcen auf Erden begrenzt sind, sondern auch, weil es neben dem biologischen Alterungsprozess eine mentale Alterung gibt. Im Laufe ihres Lebens sammeln die Menschen Erfahrungen, die ihre Entscheidungen und ihr Verhalten prägen. Diese Erfahrungen machen das Leben leichter, da sie helfen, zukünftig erfolgreicher zu agieren und die ein oder andere Blessur zu vermeiden. Mit dem Anhäufen von Erfahrungen verlieren sich aber auch Illusionen und Träume darüber, wie das Leben sein könnte, wie es wäre, wenn es die bestehenden Zwänge nicht gäbe. Diese Träume sind Antrieb für ein Handeln, das gesellschaftliche Veränderungen bewirkt, während Erfahrungen eher zur

Ablehnung von Veränderungen führen, da diese mit Risiken verbunden sind. Das heißt, die Gesellschaft braucht den Wechsel der Generationen, den Born jugendlicher Träume genauso wie den Schatz, der in den Erfahrungen liegt, um sowohl Stabilität als auch Veränderung zu gewährleisten. Eine Gesellschaft, in der nicht genügend Träume nachwachsen, wird in Nostalgie erstarren und bald nicht mehr erneuerungs- und damit anpassungsfähig sein.

Der Tod gehört zum Leben, er ist Teil des Lebens. Er ist der Abschluss im Leben des Einzelnen und gleichzeitig Voraussetzung für das Leben der Nachkommenden. Alle Überlegungen, die sich mit dem Tod verknüpfen, sollten nicht zuletzt deshalb auf die Nachkommen gerichtet sein. Trotzdem bleibt ein Stück Ungewissheit, was das Sterben und den Tod betrifft. Man weiß immerhin, dass der letzte Schritt, mit dem der Körper seine Lebenstätigkeit einstellt, weder qualvoll noch schrecklich ist. Im Gegenteil, er soll von einem Feuerwerk des Gehirns, das Licht und Wohlgefühl beschert, begleitet sein. Der Tod kann darüber hinaus Erlösung bedeuten, zum Beispiel dann, wenn Schmerzen und Gebrechen das Leben des Betroffenen zur Last werden lassen oder wenn das Dasein seinen Sinn verloren hat, weil man selbst nicht mehr am Leben der Gemeinschaft teilhaben kann. Diese Erlösung zu erlangen, sollte niemanden verwehrt sein, es sollte *für jeden* einen würdigen Weg selbstbestimmten Sterbens geben.

Der Grundwiderspruch menschlicher Gesellschaften

Die Entfaltung des Widerspruchs zwischen Struktur und Bewegung hatte zur Herausbildung immer komplexerer Strukturen geführt, die sich Schritt für Schritt eine gewisse Autonomie von den Zwängen ihrer Umwelt eroberten. Diese Entwicklung mündete auf Erden in der Entstehung menschlicher

Gesellschaften, deren Geschichte ein spezifisches Kapitel im Buch der Naturgeschichte füllt. Einige Aspekte dieser Spezifik sollen hier beleuchtet werden.

Geschichte ist der Ablauf von Ereignissen in Raum und Zeit, der in toto zu einer Entwicklung führt. Da die Geschichte der menschlichen Gesellschaften einen speziellen Abschnitt der Naturgeschichte bildet, muss es einen Widerspruch geben, der nur für diese maßgeblich ist, der jedoch alle menschlichen Gesellschaften gleichermaßen prägt. Die Besonderheiten, mit der sich die Menschen von anderen Tieren abhoben, waren vor allem in ihren Fähigkeiten zur Kommunikation und den damit entstehenden Möglichkeiten zur vermehrten Akkumulation von Erfahrungen begründet. Kommunikation und Weitergabe von Erfahrungen hatte es allerdings auch vorher, das heißt, vor der Herausbildung des modernen Menschen, gegeben. Alle Tiere, die sich um ihren Nachwuchs kümmern, geben Erfahrungen an die folgende Generation weiter. Diese Fähigkeit hatte sich bewährt, so dass sie im Zuge der Evolution weitere Ausgestaltung fand, bis sie mit den Menschen und ihrer Sprache eine neue Stufe erreichte. Die Sprache prägte das Zusammenleben der Menschen wie auch das aus diesem Zusammenleben erwachsende Wechselverhältnis von Individuum und Gemeinschaft. Dieses Wechselverhältnis wurde zum Kern aller gesellschaftlichen Beziehungen, zum Grundwiderspruch der menschlichen Gesellschaften.

Die ersten Gemeinschaften der modernen Menschen waren vor allem durch ihre natürlichen Lebensumstände bestimmt. Mit diesen verbanden sich ihre Erfahrungen, die wiederum ihr Verhalten prägten. Als eine übergeordnete Notwendigkeit erwies sich der Schutz der Gemeinschaft, denn nur in der Gemeinschaft konnten sie, wie auch ihre Nachkommen, überleben. Darüber

hinaus bot die Gemeinschaft die Möglichkeit, an den Erfahrungen anderer zu partizipieren, eigene Fähigkeiten und Talente zu entwickeln und Aufgaben in Angriff zu nehmen, die den einzelnen überfordert hätten. Einige aus der Gemeinschaft wurden zu Führern, die sich bei der Jagd oder im Kampf um die besten Jagdgebiete bewiesen, andere taten sich bei der Schlichtung von Streitigkeiten oder bei der Herstellung von Werkzeugen, Waffen oder Kleidung hervor. Wieder andere sammelten ein spezielles Wissen in Bezug auf das Wirken der Götter, die Verwendung heilender Pflanzen oder auf anderen Gebieten an. Die unterschiedlichen Fähigkeiten und Talente führten zu Unterschieden im Ansehen der Personen. Die damit einhergehende soziale Differenzierung hatte sich jedoch dem überlebenswichtigen Gebot der Solidarität unterzuordnen. Gleichzeitig konnten die Fähigkeiten einzelner, wie die Führungskraft eines Häuptlings, entscheidend für den Erfolg der ganzen Gruppe sein.

Die Urgesellschaften waren vor allem durch die *gemeinsame* Jagd geprägt. Dinge, wie Werkzeuge, Waffen, Kleidung oder Schmuck, fertigte jeder für sich selbst. Da Einige besonderes Geschick auf dem einen oder anderen Gebiet entwickelten, stellten sie ihre Erzeugnisse auch anderen zur Verfügung, die sich bei Gelegenheit mit einer Gegenleistung revanchierten. Die gegenseitige Hilfe festigte den Zusammenhalt der Gemeinschaft. Hin und wieder traf man andere Gruppen, denen eigene Erzeugnisse zum Tausch angeboten wurden. Die erhaltenen Gegenleistungen kamen wiederum der Gruppe als Ganzes zugute. Obwohl sich Einzelne als Führer bei der Jagd und im Kampf oder als Ratgeber und Schlichter heraushoben, wurden Entscheidungen, die das Leben der Gruppe betrafen, doch gemeinschaftlich getroffen. Die Ausbildung des Nachwuchses war ebenfalls eine Aufgabe, die alle

anging, wahrscheinlich aber den Besten ihres Fachs übertragen wurde. Dem Tag, an dem die Ausbildung eines Heranwachsenden abgeschlossen war und er zum vollberechtigten Mitglied der Gemeinschaft wurde, kam besondere Bedeutung zu. Er wurde von Prüfungen, Ritualen oder Festen begleitet, die eng mit den in der Gemeinschaft herrschenden Vorstellungen von der Natur und den in ihr wirkenden Göttern verbunden waren.

Vor rund 12.000 Jahren kam es zu einem Prozess, den man als Neolithische Revolution bezeichnet hat. Im Gebiet des Fruchtbaren Halbmonds waren die Menschen zum Ackerbau übergegangen. Dieser Prozess ging mit der Begründung dauerhafter Siedlungen einher. Der Umstand, dass die Menschen nicht überall zur gleichen Zeit sesshaft wurden, zeigt, dass dafür bestimmte natürliche Voraussetzungen gegeben sein mussten. Mit der Entwicklung von Ackerbau und Viehzucht stabilisierte sich die Ernährungsbasis der Menschen. Der Kampf ums Überleben prägte nun nicht mehr jeden Tag ihres Daseins. Zeit für anderes wurde gewonnen, so dass sich einige ausschließlich handwerklicher Tätigkeit widmen konnten. Die von den Handwerkern produzierten Güter bereicherten das Leben, sie machten jedoch auch Unterschiede im Wohlstand der Familien sichtbar. Die Erzeugnisse der Handwerker bekam man nämlich nicht geschenkt, man musste sie erwerben, indem man Nahrungsmittel oder anderes Nützliches als Gegenleistung bot. Derjenige, der höhere Erträge erwirtschaftete, konnte demnach mehr und bessere Güter von anderen erwerben. Das Streben danach wurde zum Ansporn für den einzelnen und zur treibenden Kraft der wirtschaftlichen Entwicklung. Die Sorge um das Gemeinwohl trat dagegen Schritt für Schritt hinter dieses Streben zurück. Die stabiler werdende Ernährungsbasis ermöglichte es auch, dass einige mit Aufgaben für die Gemeinschaft betraut

wurden. Sie mussten ebenfalls versorgt werden, denn selbst ein Priester lebt nicht von der Luft allein. Für ihre Versorgung und für die Aufgaben, die sie zu erfüllen hatten, wurden von den anderen Abgaben verlangt. Mit der Zeit wuchs die Zahl dieser Aufgaben, so dass auch die Abgabenlast stieg. Gleichzeitig nahm die Macht jener zu, denen Verantwortung übertragen worden war. Einige nutzten diese Macht, um sich persönlich zu bereichern, was zur Vertiefung der bereits entstandenen sozialen Unterschiede beitrug. Dieser Prozess ging mit einer Abstufung der Rechte und Pflichten in der Gemeinschaft einher, so dass sich die solidarische Stammesgesellschaft mehr und mehr in eine Klassengesellschaft verwandelte, in der eine herrschend Schicht das Zusammenleben regelte. Im Widerspruch von Individuum und Gemeinschaft ging das Primat von den Interessen der Gemeinschaft auf die Interessen von Individuen über, das heißt, ein Epochenwechsel vollzog sich.

Die wirtschaftliche Basis der neuen Epoche war die Landwirtschaft. In diesem Sinn waren die Gesellschaften dieser Epoche Bauerngesellschaften. Die wirtschaftliche Entwicklung war aber nicht nur durch Ackerbau und Viehzucht, sondern auch durch einen stetig anschwellenden Strom von Gütern geprägt. Mit ihm entwickelte sich der Handel, der Wohlstand brachte und der darüber hinaus zur Verbreitung von neuen Materialien und Werkzeugen, wie auch von Wissen und Ideen, beitrug. Während in den Urgesellschaften die Erzeugnisse noch direkt, das heißt von Angesicht zu Angesicht, getauscht wurden, transportierten jetzt Händler die Waren oft über weite Strecken, um sie auf fremden Märkten feilzubieten. Als Gegenleistung suchten sie Waren, die auf den heimischen Märkten mit Gewinn veräußert werden konnten. Mit der Zeit schälten sich einige Güter heraus, die so begehrt waren, dass man sie beinahe überall als Gegenleistung

akzeptierte, denn sie konnten jederzeit wieder gegen andere, gerade benötigte Erzeugnisse, getauscht werden. Solche begehrten Güter waren in ihrer Zeit das Kupfer, die Bronze, aber auch Bernstein oder Salz. Später übernahmen Edelmetalle diese Rolle. Sie wurden zu Zahlungsmitteln, zu Waren, mit denen man Erzeugnisse und Leistungen anderer bezahlte. Die Warenwirtschaft beherrschte bald nicht mehr nur die Zirkulation der Güter und Dienstleistungen, sie drückte der ganzen Epoche ihren Stempel auf. Alles wurde zur Ware, und Geldware zur Inkarnation von Reichtum und Macht. Kriege wurden nun nicht mehr um Jagdgebiete geführt, sondern um Gold und ähnliche Schätze. Die Natur selbst wurde vom Lebensraum, mit dem man sorgsam umging, zur Quelle von Reichtum und Macht, einer Macht, die im Übrigen von den Herren des Krieges, von Männern also, ausging. Frauen waren in dieser Logik Teil des Hab und Guts "ihrer" Männer. Bald richtete sich alles, auch die Ausbildung des Nachwuchses, auf die Absicherung dieser Machtstrukturen aus.

Die Epoche der Bauerngesellschaften umfasste mehrere tausend Jahre. Die aufgezeigten Merkmale können schon deshalb nur ein grobes Bild ergeben, das zu unterschiedlichen Zeiten in den verschiedenen Weltengegenden spezifische Ausgestaltung erfuhr. Darüber hinaus war die Entwicklung in dieser langen Zeitspanne nicht nur von kontinuierlichen Veränderungen, sondern auch von Brüchen gekennzeichnet. Sie konnten aus plötzlichen Naturkatastrophen resultieren, aber auch aus langfristigen Veränderungen, wie jenen, die in Europa zur Völkerwanderung führten. Daneben hatten auch politische Entwicklungen weitreichende Folgen, gar nicht zu reden von den unzähligen Kriegen, die immer wieder und überall geführt wurden. Fortschritte in Wissenschaft und Technik konnten Entwicklungen ebenfalls derart beeinflussen, dass sie in der

Rückschau als Umbrüche erscheinen. Man denke nur an den Siegeszug der Bronze, den zunehmenden Einsatz des Eisens oder die großen Entdeckungen des 15./16. Jahrhunderts. Auch einzelne Herrscher, wie Alexander von Makedonien, Attila oder Dschingis Khan, um nur einige zu nennen, haben mit ihren Eroberungen Geschichte geschrieben, das heißt, Entwicklungen angestoßen oder beendet. Allen Gesellschaften dieser Epoche war jedoch gemeinsam, dass ihre Existenzgrundlagen von Bauern geschaffen wurden. Es waren Bauerngesellschaften mit einer sich entwickelnden Warenwirtschaft und einem hierarchisch gegliederten Machtgefüge.

Als Folge der Renaissance und getrieben von den großen Entdeckungen setzte ab dem 15. Jahrhundert in Europa ein Aufschwung von Wissenschaft und Technik, aber auch von Handwerk, Gewerbe und Handel, ein. Immer mehr mechanische Hilfsmittel wurden ersonnen, die die Effektivität des Wirtschaftens steigerten und das Leben angenehmer machten. Bald setzte man zum Antrieb der Hilfsmittel nicht mehr nur Mensch und Tier, sondern auch Wind, Wasser und andere Naturkräfte ein. Die mit ihnen betriebenen Maschinen wurden zu Vorboten einer neuen Zeit. Das diesen Fortschritt tragende Bürgertum strebte bald nach einem größeren Anteil an der Macht, um die Gesellschaft nach eigenen Vorstellungen formen zu können. Das Ringen mit den alten Regimes führte 1789 in Frankreich zu einer Revolution, die die Machtverhältnisse in ganz Europa erschütterte. Die Veränderungen brachten jedoch keine Verbesserung für die arbeitenden Menschen, die in den Augen kritischer Zeitgenossen lediglich die Knute der Feudalherren gegen die Knute der Fabrikbesitzer eingetauscht hatten. Das Zusammenleben war weiterhin durch die Ausbeutung vieler und

die Bereicherung weniger geprägt. Das kann der lange ersehnte Epochenwechsel noch nicht gewesen sein, meinten sie.

Zu diesen kritischen Zeitgenossen gehörten Marx und Engels. Sie schlussfolgerten, dass eine weitere Revolution erforderlich sei, um eine neue Gesellschaft, die sie in ihrem Manifest von 1848 Kommunismus nannten, zu erschaffen. Doch, wie würde diese neue Gesellschaft aussehen? Da ihr Denken von der Auseinandersetzung mit Hegels Dialektik geprägt war, suchten sie mit Hilfe des

Gesetzes von der Negation der Negation nach Antworten. In der Geschichte der menschlichen Gesellschaften hatte es mit dem Übergang von der Urgemeinschaft zur Bauerngesellschaft bereits eine Negation der gesellschaftlichen Verhältnisse gegeben. Der anstehende Umbruch musste deshalb die Negation der Negation bringen, durch die die Grundzüge der ersten Gesellschaften wieder aufscheinen würden. Die Urgesellschaften waren solidarische Gemeinschaften gewesen, die von Klassengesellschaften abgelöst worden waren. Die neue Epoche, der Kommunismus, musste also wieder eine auf gegenseitiger Hilfe beruhende klassenlose Gesellschaft sein. In den Urgesellschaften wurden die überschüssigen Erzeugnisse meist von Angesicht zu Angesicht getauscht. Diese Art der Tauschwirtschaft war von einer Warenwirtschaft abgelöst worden, zu deren Wesensmerkmalen die Vermittlung der Austauschprozesse durch Geldware gehörte. Im Kommunismus sollte der Zusammenhang der Produzenten wieder direkt und damit planmäßig hergestellt werden. Geld war dafür nicht erforderlich. Hatten die autokratischen Systeme in der vergehenden Epoche die Teilnahme aller an der Regelung des Zusammenlebens verhindert, dann gehörten sie, genauso wie die ihr dienenden Parlamente, abgeschafft. Der Staat als Instrument

der Unterdrückung würde absterben, um neuen Formen der gesellschaftlichen Selbstverwaltung Platz zu machen. Natürlich mussten auch die Frauen wieder zu einem gleichberechtigten Teil der Gemeinschaft werden und die Erziehung des Nachwuchses zu einer gesamtgesellschaftlichen Aufgabe. Sie sollte allen, unabhängig von ihrer Herkunft, gleiche Chancen eröffnen. Da sich das Bürgertum in den Augen von Marx und Engels als unfähig erwiesen hatte, diesen Umbruch herbeizuführen, sollte die andere mit der modernen Produktion verbundene Klasse, das Proletariat, sein Wegbereiter werden.

Am Ende des 19. Jahrhunderts wurde die Wirtschaft in den fortgeschrittenen Staaten Europas und in Nordamerika bereits von Industrie und Handel sowie einem rasch wachsenden Finanzsektor geprägt. Diese erbrachten den überwiegenden Teil des gesellschaftlichen Gesamtprodukts. Die Menschen, die ihren Lebensunterhalt mit Ackerbau und Viehzucht verdienten, waren dagegen zur Minderheit geworden. Das heißt, die Gesellschaften waren keine Bauerngesellschaften mehr, ein Epochenwechsel hatte sich vollzogen. Der Wendepunkt war jedoch nicht mit einer proletarischen Weltrevolution, wie Marx und Engels geglaubt hatten, verbunden, er wurde durch die Industrielle Revolution gesetzt. War mit ihr auch eine "Negation der Negation" aller gesellschaftlichen Verhältnisse verbunden?

Das prägende Merkmal einer Epoche ist die Art und Weise, wie die Lebensgrundlagen der Gesellschaft geschaffen werden. Die erste Epoche war die Zeit der Jäger und Sammler gewesen, die ihr Überleben vor allem der Jagd verdankten. Es folgte die Zeit der Bauerngesellschaften, deren Existenzgrundlagen durch Ackerbau und Viehzucht geschaffen wurden. Mit der Industriellen Revolution fanden Maschinen breiten Eingang in die Produktion. Mit ihrer Hilfe wurde es möglich, die Menge und Vielfalt der

verfügbaren Güter und Dienstleistungen immens zu vergrößern. Sowohl den Übergang zu Ackerbau und Viehzucht als auch das Vordringen der Maschinen in alle Bereiche des Lebens kann man als gesetzmäßig ansehen, da es Prozesse waren, die sich an einem bestimmten Punkt der Entwicklung überall vollzogen. Sie folgten einer inneren Logik, in diesem Sinn waren sie unabhängig vom Willen der Menschen. Diese Prozesse konnten unter Umständen beschleunigt, verzögert oder anderweitig beeinflusst, aber nicht dauerhaft verhindert werden.

Die Art und Weise, in der die Lebensgrundlagen einer Gesellschaft geschaffen werden, prägt wiederum alle Facetten ihres Zusammenlebens. Die Wildbeuter konnten auf ihren Wanderungen nur das Nötigste mitführen, weshalb dieses Wenige bei Bedarf jedem zur Verfügung stand. Mit dem Sesshaftwerden sammelte sich in den Familien eine Vielzahl von Dingen an, von deren Nutzung andere ausgeschlossen blieben. Sie wurden zu *privatem Eigentum*. In der neuen, durch die Maschinenproduktion geprägten Epoche, blieb der durch das Eigentum begrenzte Zugang zu den Gütern erhalten, nicht zuletzt, weil sich der damit verbundene Anreiz als starke, vorwärtstreibende Kraft erwiesen hatte. Mit der komplexer werdenden Produktion vergrößerte sich jedoch auch die gegenseitige Abhängigkeit der Produzenten, so dass der Produktionsprozess selbst mehr und mehr gesellschaftlichen Charakter annahm. Durch die Kooperation mit staatlichen Einrichtungen, durch staatliche Vorgaben und Normen, aber auch durch Steuern und Abgaben wurde er zudem eng in die Entwicklung der Gesellschaft eingebunden. In diesem Sinn wurde das Eigentum vergesellschaftet. Mit der Negation der Negation wurde also nicht das private Eigentum „abgeschafft“, das

Eigentum wandelte jedoch seinen Charakter; es wurde stärker von der Verantwortung für die Gemeinschaft bestimmt.

Die Bauerngesellschaften waren aber nicht nur durch das sich herausbildende Eigentum, sondern auch durch die sich entfaltende Warenwirtschaft, die die Tauschwirtschaft der Urgesellschaften abgelöst hatte, geprägt. Wurde mit der Industriellen Revolution auch die Warenwirtschaft negiert? Die Warenwirtschaft basierte darauf, dass einzelne Waren zum allgemein akzeptierten Mittler des Tausches, zu einer Geldware wurden. Die für den Austausch erforderliche Geldware, meist Gold oder Silber, musste dafür oft lange Wege zurücklegen, was die Rentabilität der Geschäfte schmälerte. Man ersann Geldzeichen, zum Beispiel in Form von bedrucktem Papier, die als Zahlungsmittel akzeptiert wurden, weil eine Bank oder eine andere vertrauenswürdige Institution versprach, den Wert, den sie repräsentierten, auf Verlangen in Geldware auszuzahlen. Auf diese Weise blieb die Geldware, obwohl sie nicht von Ort zu Ort bewegt wurde, Teil aller Transaktionen. Mit der Industriellen Revolution wuchs der Strom der Waren jedoch derart, dass die für die Zirkulation im Umlauf befindlichen Geldzeichen rein mengenmäßig nicht mehr mit Geldware gedeckt werden konnten. Das Versprechen, sie jederzeit einzutauschen, musste aufgegeben werden. Jeder, der jetzt Geldzeichen als Zahlungsmittel annahm, musste darauf vertrauen, dass sie von anderen als solche akzeptiert werden. Ihre Anerkennung als Zahlungsmittel kam einer Kreditvergabe gleich, denn man verzichtete im Moment auf einen Gegenwert in Form einer Leistung oder einer Ware, im Vertrauen darauf, diese später bei irgendjemanden im Markt einfordern zu können. Die Warenwirtschaft, die durch Geldware mit eigenem Wert gekennzeichnet war, wurde zur Kreditwirtschaft. Mit der Aufgabe

der Geldware, das heißt, durch die "Abschaffung" des Geldes in seinem ursprünglichen Sinn, entstand wieder eine unvermittelte, nicht durch eine dritte Ware vermittelte, Verbindung zwischen den Produzenten, auch wenn sich diese auf einem für den einzelnen undurchschaubaren "fremden" Markt realisieren musste.

Der Siegeszug der Maschinenproduktion führte zur Diversifizierung der Berufe. Waren in der Epoche der Bauerngesellschaften die Klassen und Schichten der Gesellschaft, aber auch die Berufsstände, klar voneinander abgegrenzt und aus sich selbst heraus reproduzierend, so wurde nun ein schneller Wandel der gesellschaftlichen Strukturen charakteristisch. Die Klassen und Schichten im Sinne der vorangegangenen Epoche verschwanden, nicht jedoch die soziale Differenzierung. Sie blieb Motor des Fortschritts. Sie konnte allerdings auch zu dessen Hemmschuh werden, da die Reichen und Mächtigen darauf bedacht waren, einflussreiche Positionen und einträgliche Pfründe in den eigenen Reihen zu halten. Durch diesen Egoismus wird jedoch die umfassende Entwicklung der in der Gesellschaft vorhandenen Talente und Fähigkeiten behindert. Die Gestaltung des Gegensatzes zwischen sozialer Differenzierung einerseits und weitgehender Chancengleichheit andererseits ist nicht zuletzt aus diesem Grund eine Herausforderung, von deren Meisterung der soziale Frieden einer modernen Gesellschaft, langfristig auch ihr Platz im globalen Wettbewerb, abhängt.

Mit dem Epochenwechsel waren darüber hinaus Entwicklungen verbunden, die eine schrittweise Überwindung der hierarchischen Gliederung wie auch der patriarchalischen Prägung der Gesellschaft zur Folge haben. Gleichzeitig werden die Erziehung der Kinder und die Betreuung der Alten und Kranken wieder zu Aufgaben, die nicht nur den Familien, sondern der

Gesellschaft als Ganzes obliegen. Das heißt, in den modernen Gesellschaften hat die Negation der Bauerngesellschaften tatsächlich Raum gegriffen, allerdings anders, als es Marx und Engels vorhergesehen hatten.

Ausblick

Wie wird es weitergehen? Wie sieht die Zukunft aus? Seitdem die Menschen Muße hatten, über das Leben nachzudenken, haben sie sich auch mit dieser Frage beschäftigt und ihre Träume und Wünsche, mitunter auch ihre Ängste, in diese Zukunft projiziert. Mit der Zeit konnten daraus Gewissheiten und Ziele werden, auf die hinzuarbeiten sich lohnte, die dem Leben einen Sinn geben würden. Die Crux dabei ist, dass man Entwicklungen, die in der Zukunft liegen, nicht wirklich verlässlich vorhersagen kann. Man kann lediglich Tendenzen der Entwicklung herausarbeiten und diese in die Zukunft fortschreiben. Da aber alles mit allem zusammenhängt und es eine unüberschaubare Zahl von Wechselwirkungen gibt, können diese Tendenzen jederzeit von anderen Prozessen überlagert werden. Gar nicht zu reden davon, dass irgendwelche Katastrophen, von außen hereinbrechende oder von den Menschen selbst verursachte, bisherige Entwicklungen beenden oder ihnen eine völlig andere Richtung geben können. Sollte man sich deshalb Überlegungen über die Zukunft verkneifen? Besser wäre es vielleicht, aber es widerspräche unserem Naturell, das nach einer Perspektive verlangt. Wenn wir uns also nicht auf die Deutung der Sterne, alte Prophezeiungen oder den Zufall beim Mischen von Knochen, Runen oder Karten verlassen wollen, werden wir uns mit den in der bisherigen Geschichte erkennbaren Tendenzen auseinandersetzen müssen.

Die Menschen waren als Gattung auch deshalb erfolgreicher als andere, weil es ihnen am besten gelang, das Leben in der Gemeinschaft mit der Ausprägung der Individualität des einzelnen zu verbinden. Durch die Vielfalt der Individuen wurde die Vielfalt der gewonnenen Erfahrungen größer, die innerhalb der Gemeinschaft und von Generation zu Generation weitergegeben werden konnte. Dieser Schatz an Erfahrungen und Wissen war es, der den Menschen zu immer neuen Erfolgen im Kampf ums Überleben verhalf. Wenn anfangs kleinere Familienverbände auf der Jagd durch die Lande zogen, so wurden die Sippen mit der Zeit größer. Sie mussten sich teilen und neue Jagdgebiete erobern, um alle versorgen zu können. Immer neue Sippen entstanden, die sich jedoch denen, von denen sie abstammten, nahe fühlten. Den Stamm verband die gemeinsame Sprache genauso wie gleiche Anschauungen und Traditionen. Als die Menschen dann sesshaft wurden, wurden aus den Sippen Dorfgemeinschaften, die mit den anderen des Stammes mehr oder weniger eng verbundene Völker bildeten. Die Dörfer lebten von Ackerbau und Viehzucht, auch das Handwerk entwickelte sich. Als Folge der sich ausprägenden Arbeitsteilung kam es zu sozialen Differenzierungen, die mit einer Abstufung der Rechte und Pflichten in der Gemeinschaft einhergingen. Diese Entwicklung brachte Konflikte mit sich. Sie war gleichzeitig notwendig, da die entstehenden sozialen Strukturen den größer werdenden Gemeinwesen Stabilität verliehen. Unter diesen Bedingungen musste es zweitrangig bleiben, wenn die sozialen Unterschiede die Entfaltung des individuellen Potenzials der weniger Privilegierten verhinderten.

Ab dem 15. Jahrhundert begann sich mit der Renaissance eine Trendwende abzuzeichnen. Das Bild der Gesellschaft wurde fortan nicht mehr nur durch eine Machtelite geprägt. Einzelne

Persönlichkeiten, Baumeister und Künstler vor allem, aber auch Abenteurer und Kaufleute, Forscher und Theologen öffneten den Blick der Menschen auf die Welt. Der geistige Aufbruch wurde von einem Streben nach Veränderung der gesellschaftlichen Verhältnisse begleitet. Die wenige Jahrhunderte später einsetzende Industrielle Revolution verstärkte diesen Drang. Jetzt waren es herausragende Leistungen von Erfindern und Unternehmern, die der Gesellschaft ihren Stempel aufdrückten. Die Machtelite der vorangegangenen Epoche, deren Privilegien von Generation zu Generation vererbt worden waren, wurde endgültig zum Hemmschuh des Fortschritts. Sie musste abtreten und ehrgeizigen Bürgern Platz machen. Die Freiheiten, die diese verkündeten, blieben allerdings zunächst nur einem kleinen Kreis vorbehalten, während die Mehrzahl der Menschen oft sogar mit schlechter werdenden Bedingungen zurechtkommen musste. Für sie stand nicht die Entfaltung ihrer Individualität auf der Tagesordnung, sondern eine mit der Maschinenproduktion einhergehende Uniformierung auf niedrigem Niveau. Dabei blieb es jedoch nicht, denn die Fabriken forderten zunehmend gut ausgebildete Arbeiter. Dieses Erfordernis erzwang einen Wandel, der in einer Anhebung des allgemeinen Bildungsniveaus und einem wachsenden Selbstbewusstsein der Arbeiterschaft Ausdruck fand. Trotz der mit dem Umbruch einhergehenden sozialen Konflikte sowie vieler wirtschaftlicher und politischer Krisen vermochten es die nun Herrschenden, ihre Macht zu festigen und auf beinahe alle Teile der Erde auszudehnen. Sie brachten Fortschritt in die Welt, aber auch nur schwer erträgliches Leid. Im Drang nach Profit wurde geraubt, geplündert und versklavt. Die Kriege um Rohstoffe und Märkte bedrohten bald nicht mehr nur einzelne Regionen und Länder, sie erreichten globale Dimensionen.

Das war aber nur die eine Seite, auf der anderen Seite wuchs die Welt der Menschen, getrieben durch eine zunehmende wirtschaftliche Verflechtung, zusammen. Es begann, sich eine Weltgemeinschaft der Menschen herauszubilden. Diese Weltgemeinschaft ist für den einzelnen abstrakt, nur schwer fassbar, vielleicht sogar bedrohlich, so dass sich mit ihr kaum ein Wir-Gefühl verbindet. Deshalb suchten manche ihr Heil im Bekannten, in kleinen Gemeinschaften, in den Familien und Clans, in religiösen oder anderen, von gemeinsamen Interessen geprägten Gruppen. Gleichzeitig lebten regionale Traditionen, teilweise auch rassistische und nationalistische Strömungen, wieder auf. Offensichtlich müssen beide Tendenzen, die Herausbildung einer Weltgemeinschaft der Menschen und die Besinnung auf identitätsstiftende kleinere Gemeinschaften, als Einheit verstanden werden, die sich nur gemeinsam realisieren lässt. Ein Grund für die immer wieder aufkeimende Ablehnung globalisierender Tendenzen ist darin zu suchen, dass die Weltgemeinschaft bislang nicht Resultat eines gleichberechtigten Zusammenwachsens war, dass sie vielmehr durch wenige Staaten beziehungsweise durch die in ihnen herrschende Elite dominiert wurde. Die Dominanz weniger führt dazu, dass sich die Globalisierung bislang mehr als ein Kampf um Einflusssphären als ein Ringen um die Formung einer Schicksalsgemeinschaft darstellte. Die Lösung drängender globaler Probleme geriet dabei nur allzu oft in den Hintergrund. Sauberes Wasser, ausreichend Nahrung, gleiche Bildungschancen und Gesundheitsschutz für alle, wirkliche Gleichberechtigung der Völker und fairer Handel sind nur einige der in diesem Zusammenhang anstehenden Aufgaben.

Ein anderes drängendes Problem ist der Schutz der natürlichen Umwelt. Die Natur war die Basis für die Entwicklung menschlicher

Gesellschaften. Die in ihr vorhandenen Gleichgewichte bestimmten maßgeblich ihre Lebensqualität. Sie zu schützen, war und ist von existenzieller Bedeutung, nicht zuletzt für nachfolgende Generationen. Der Schutz dieser Gleichgewichte kann nur gelingen, wenn in vielen Bereichen des Lebens umgesteuert wird, wenn sich eine gleichberechtigte, auf dieses Ziel hinwirkende globale Zusammenarbeit herausbildet. Man muss kein Prophet sein, um vorauszusagen, dass die damit verbundenen Veränderungen nicht immer angenehm sein werden. Für die langfristige Sicherung der Lebensgrundlagen auf diesem Planeten sind sie jedoch alternativlos. An dieser Stelle tritt der Konflikt zwischen den eigenen Wünschen und Bedürfnissen und den Interessen der nachkommenden Generationen ins Rampenlicht. Dieser Konflikt ist wiederum keine Besonderheit unserer Zeit. Er begleitete das Leben als Konflikt zwischen Selbsterhaltung und Erhaltung der Art von Beginn an. Neu ist, dass die Menschen mit der Zerstörung der natürlichen Gleichgewichte nicht nur die eigene Art gefährden, sondern große Teile von Flora und Fauna gleich mit.

Werden all die drängenden Aufgaben gelöst werden können? Anders gefragt, hat die Menschheit eine Perspektive? Die Dialektik nutzt für die Herleitung langfristiger Tendenzen Überlegungen zur Negation der Negation bisheriger Entwicklungen. Wir hatten gesehen, dass die jetzige Epoche durch die Industrielle Revolution eingeleitet wurde. Sie hat, gemessen an den Zeitspannen, die die vorangegangenen Epochen durchschritten, gerade erst begonnen. Andererseits wissen wir, dass sich Entwicklungen beschleunigen und sich die Dauer der Epochen verkürzt, so dass man nicht mit Gewissheit sagen kann, wie lange die jetzige Epoche andauern wird. Und, was kommt danach? Der Grundwiderspruch menschlicher Gesellschaften, der

Widerspruchs zwischen Individuum und Gemeinschaft, hat mit der jetzigen Epoche die Negation der Negation erfahren. Er hat damit seine volle Entfaltung erreicht; seine gestaltende Kraft wird sich erschöpfen. Das bedeutet, wir müssen die Antwort auf die Frage nach Tendenzen, die über die jetzige Epoche hinausweisen, im übergeordneten Gegensatz, im Gegensatz von Struktur und Bewegung, suchen.

Die Entfaltung des Widerspruchs von Struktur und Bewegung hatte zur Entstehung des Universums wie auch unseres Sonnensystems geführt. Auf Erden entstand darüber hinaus eine große Vielfalt von Stoffen, die wir in ihrer Gesamtheit als anorganische Natur bezeichnen. Sie ist unter anderem davon charakterisiert, dass eine äußere Wirkung jeweils eine ganz bestimmte Reaktion in Anpassung an diese Wirkung hervorruft. Mit der Entstehung und Entwicklung des Lebens war eine Negation dieses Prinzips eingetreten, da auf eine Wirkung nun verschiedene Reaktionen möglich wurden. Die Vielfalt der Möglichkeiten erforderte Entscheidungen, für deren Realisierung sich komplexe Wirkungsketten herausbildeten, die wir als Gefühle bezeichnen. Mit der Entstehung der modernen Menschen und ihrer Sprache entwickelte sich darüber hinaus die Fähigkeit, Beobachtungen über Zusammenhänge in der Natur und in der Gesellschaft zu verallgemeinern und so zu ihrem Wesen vorzudringen. Damit wurde es möglich, Entscheidungen rational, das heißt auf Wissen basierend, zu treffen. Diese Möglichkeit änderte die Art und Weise, wie Menschen Entscheidungen treffen, jedoch nicht grundlegend. Sie blieb weiterhin durch Triebe, Süchte, Gier nach Macht und Ansehen, durch Ängste, vielleicht auch durch Zuneigung, das heißt durch Gefühle bestimmt.

Mit der Industriellen Revolution begannen Maschinen in alle Bereiche des Lebens vorzudringen. Maschinen bestehen aus anorganischen Stoffen; ihre Steuerung basiert auf Algorithmen. Das heißt, sie treffen Entscheidungen rein rational, auf der Basis von Wissen, das ihnen gegeben wurde oder das sie selbst erlangten. Emotionen spielen bei ihren Entscheidungen keine Rolle. Da die Gefühle für die meisten Probleme im Zusammenleben der Menschen verantwortlich sind, könnte es eine Chance sein, Maschinen mit der Steuerung komplexer gesellschaftlicher Prozesse zu betrauen, ihnen die Aufgabe zu übertragen, das Leben der Menschen zum Wohle aller zu ordnen. Damit würde der Widerspruch zwischen Individuum und Gesellschaft durch den Widerspruch zwischen den von den Maschinen rational gestalteten Bedingungen und dem emotional gesteuerten Leben der Menschen abgelöst.

Man kann diese Überlegungen als Spinnerei abtun. Doch ich gebe zu bedenken, dass die Entwicklung künstlicher Intelligenz bereits heute die Steuerung komplexer gesellschaftlicher Prozesse durch Maschinen denkbar erscheinen lässt. Hinzu kommt, dass sich objektive Entwicklungen, wie das Vordringen der Maschinen in alle Lebensbereiche, nicht aufhalten lassen. Man kann zwar versuchen, die Entwicklung mit weltweit verbindlichen Regeln in eine vorgegebene Richtung zu lenken, doch die Erfolgchancen dafür sind, nach allen Erfahrungen, eher gering. Langfristig bleibt wohl nur, sich der Entwicklung zu stellen. „Langfristig“ sollte hier nicht missverstanden werden, denn das Tempo wird von der Entwicklung der künstlichen Intelligenz vorgegeben. Werden wir der Herausforderung zur rationalen Gestaltung der Welt nicht selbst in einem vergleichbaren Tempo gerecht, könnten die sich zuspitzenden Konflikte dazu führen, dass die Maschinen die Initiative übernehmen und die Welt nach ihren Plänen formen.

Quellen

Im Laufe der Jahre, in denen ich mich mit der Thematik beschäftigte, habe ich eine Vielzahl von Büchern und Artikeln gelesen, die in der ein oder anderen Weise hier aufgeworfene Fragen berührten oder inspirierten. Es ist leider nicht mehr möglich, diese Quellen in ihrer Gesamtheit auszuweisen. Hervorheben möchte ich Wikipedia, da ich immer wieder auf das dort versammelte Fachwissen zu wissenschaftlichen Fragen zurückgreifen konnte. Die Internetrecherche zu Fachfragen spielte insgesamt eine große Rolle, ohne dass ich im Nachhinein alle besuchten Seiten benennen könnte.

Quellen, auf die in den einzelnen Abschnitten Bezug genommen wird beziehungsweise die bei der Erarbeitung der Abschnitte eine besondere Rolle spielten, sind:

I.1. Sinnliches

- GEO kompakt Nr. 36, Unsere Sinne. Wie wir die Welt wahrnehmen

I.3. Strukturen, Bewegungen und Kräfte

- Stephen W. Hawking: Eine kurze Geschichte der Zeit. Die Suche nach der Urkraft des Universums; Lizenzausgabe mit Genehmigung des Rowoldt Verlags, Reinbek, Copyright 1988
- Julian Schwinger: Einsteins Erbe. Die Einheit von Raum und Zeit; 2. Auflage 1988, Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg
- Brian Greene: Das elegante Universum. Superstrings, verborgene Dimensionen und die Suche nach der Weltformel; Siedler Verlag 2000, Copyright des Originals 1999
- GEO kompakt Nr. 31, Wie uns die Chemie die Welt erklärt

- Kristen Rohlf, Die Ordnung des Universums. Birkhäuser Verlag Basel 1992
- Spektrum der Wissenschaft, Biographie 4/1999, Einstein – Das neue Weltbild der Physik

I.4. Leben

- Gerhard Gottschalk, Welt der Bakterien, WILEY-VCH Verlag, Weinheim 2009
- Nathan Wolfe, Mikroben: Unsere kleinen Freunde, www.nationalgeographic.de
- Bernard Dixon, Der Pilz, der John F. Kennedy zum Präsidenten machte, Spektrum Akademie Verlag 2009
- GEO kompakt Nr. 38, Das geheime Leben der Pflanzen
- GEO kompakt Nr. 33, Wie Tiere denken

I.5. Menschen

- GEO kompakt Nr. 41, Der Neandertaler
- Josef H. Reichholf, Das Rätsel der Menschwerdung, dtv Wissen 1993
- Elke Bodderas, Fische sind intelligent - nicht nur im Schwarm, Interview mit Prof. Jens Krause, 10.01.2011, www.welt.de
- Entdeckungsreise durch das Gehirn, Gehirn & Geist spezial, Nr. 1/2011
- GEO kompakt Nr. 28, Intelligenz, Begabung, Kreativität
- Ulrich Bahnsen, Familie Mensch, Die Zeit Nr. 39/2016 vom 15.09.2016
- A. Beck, Die Steinzeit, Theiss Wissen Kompakt 2012
- Yuval Noah Harari, Eine kurze Geschichte der Menschheit, Pantheon-Ausgabe 2015
- GEO kompakt Nr. 37, Die Geburt der Zivilisation

- Stephen Greenblatt, Die Wende. Wie die Renaissance begann, Siedler München, 6. Auflage 2012
- GEO Epoche Nr. 75, Die Pest
- GEO Epoche Kollektion Nr. 7, Die Industrielle Revolution
- GEO Epoche Nr.8, Das alte China

II.2. Noch einiges Dialektisches

- zum Abschnitt Einheit und Kampf der Gegensätze: Gerhard Gottschalk, Welt der Bakterien, WILEY-VCH Verlag, Weinheim 2009
- zum Abschnitt Grundwiderspruch menschlicher Gesellschaften:
 - Karl Marx, Friedrich Engels, Manifest der Kommunistischen Partei
 - Karl Marx, Ökonomisch-philosophische Manuskripte vom Jahre 1844, Verlag Philipp Reclam jun., Leipzig 1988
 - Friedrich Engels, Herrn Eugen Dührings Umwälzung der Wissenschaft, Dietz Verlag Berlin 1973

Titelbild: Greg Rakozy on Unsplash