

## 2 Wann und warum erscheinen uns Entscheidungen als frei?

Wolf Singer

### 2.1 Der Konflikt zwischen Intuition und neurobiologischer Evidenz

Es mutet eigentümlich an, dass unsere Intuition Annahmen über die Organisation unseres Gehirnes macht – also jenes Organs, das diese Intuition hervorbringt – die mit den Erkenntnissen, welche die Naturwissenschaften zu Tage fördern, nicht übereinstimmen. Uns ist, als ob es in unserem Gehirn ein Zentrum gäbe, in dem alle Informationen über die Geschehen in unserem Körper und die Bedingungen der Umwelt zusammengefasst werden. Wir vermuten, dass dies der Ort sein müsste, an dem die Sinnessignale zu Wahrnehmungen werden, an dem Entscheidungen fallen und Vorsätze gefasst werden, an dem Handlungsentwürfe entstehen, und schließlich wäre dies der Ort, an dem das Ich sich seiner selbst bewusst wird. Die moderne Hirnforschung entwirft ein gänzlich anderes Bild. Wir glauben zu wissen, dass das Gehirn in extremer Weise distributiv organisiert ist und dass sich in ihm eine Fülle unbewusster und bewusster Verarbeitungsprozesse parallel vollziehen. Wir müssen davon ausgehen, dass es kein singuläres Zentrum gibt, von dem aus die vielen, an unterschiedlichen Orten gleichzeitig erfolgenden Verarbeitungsschritte koordiniert und deren Ergebnisse zusammengefasst werden könnten.

Dies wirft die interessante Frage auf, warum ein erkennendes Organ zu so unterschiedlichen Schlussfolgerungen kommen kann, je nachdem, ob es sich

bei seiner Erforschung auf die Selbsterfahrung oder auf die Fremdbeschreibung durch naturwissenschaftliche Vorgehensweise verlässt. Dieser Frage ist der zweite Teil dieser Abhandlung gewidmet. Es ergeben sich daraus zudem eine Fülle äußerst anspruchsvoller wissenschaftlicher Fragestellungen, da es die Organisationsprinzipien zu erforschen gilt, die es möglich machen, dass ein System, das aus  $10^{11}$  Einzelementen, den Neuronen, besteht, sich so zu organisieren vermag, dass es trotz seiner dezentralen Struktur in der Lage ist, kohärente Interpretationen seiner Umwelt zu liefern, angepasste Handlungsentwürfe zu erstellen und komplexe motorische Reaktionen zu programmieren. Sich mit diesen praktischen Fragen zu befassen, gehört zum Alltagsgeschäft der Hirnforschung. Hierbei wird das Gehirn als ein Organ wie jedes andere betrachtet und die Grundannahme ist, dass sich seine Funktionen in naturwissenschaftlichen Beschreibungssystemen darstellen lassen müssen. Diese Überzeugung basiert auf ganz unterschiedlichen, jedoch konvergierenden Argumentationslinien. Zum einen scheint gesichert, dass sich Gehirne, ebenso wie der sie beherbergende Organismus, einem kontinuierlichen evolutionären Prozess verdanken, der zu immer komplexeren Strukturen führte. Ähnlich kontinuierlich vollzieht sich die Individualentwicklung von der Befruchtung bis hin zur Ausdifferenzierung des reifen Organismus, wobei die Differenzierungsprozesse vollständig im Rahmen naturwissenschaftlicher Beschreibungssysteme erfasst werden können. Bemerkenswert ist dabei, dass sich sehr enge Korrelationen herstellen lassen zwischen der Ausreifung bestimmter Hirnfunktionen und dem sukzessiven Auftreten immer höherer kognitiver Leistungen. Diese Evidenzen legen die Schlussfolgerung nahe, dass alle Verhaltensleistungen, also auch die höchsten kognitiven Funktionen, mit ihren psychischen und mentalen Konnotationen, auf den neuronalen Prozessen im Gehirn beruhen müssen. Bislang sind alle Befunde, die diese Schlussfolgerung nahelegen, widerspruchsfrei geblieben. Noch ist es jedes Mal gelungen, für eine definierte kognitive Funktion das entsprechende neuronale Korrelat zu identifizieren. Auch wenn die zugrundeliegenden Mechanismen noch längst nicht vollständig aufgeklärt sind, gibt es keinen Grund zur Annahme, mentale Vorgänge könnten auf anderen als neuronalen Prozessen beruhen. Dies aber impliziert, dass mentale Prozesse wie das Bewerten von Situationen, das Treffen von Entscheidungen und das Planen des je nächsten Handlungsschrittes auf Prozessen beruhen, die ihrer Natur nach deterministisch sind. Auch wenn es sich bei Gehirnzuständen, die den verschiedenen kognitiven Akten zugrundeliegen, um dynamische Zustände eines hoch nicht-linearen Systems handeln sollte – was wahrscheinlich ist – gälte nach wie vor, dass der jeweils nächste Zustand die notwendige Folge des jeweils unmittelbar Vorausgegangenen ist. Sollte sich das Gesamtsystem in einem Zustand befinden, für den es mehrere Folgezustände gibt, die eine gleich hohe Übergangswahrscheinlichkeit aufweisen, so können minimale Schwankungen der Systemdynamik den einen oder anderen favorisieren. Es kann dann wegen der unübersehbaren Zahl der determinierenden Variablen nicht vorausgesagt

werden, für welche Entwicklungstrajektorie sich das System „entscheiden“ wird. Das System ist aufgrund seiner Komplexität und nichtlinearen Dynamik hinsichtlich seiner zukünftigen Entwicklung offen. Es kann völlig neue, bislang noch nie aufgesuchte Orte in einem hoch dimensionalen Zustandsraum besetzen, – was dann als kreativer Akt in Erscheinung tritt. All dies ändert aber nichts daran, dass jeder der kleinen Schritte, die aneinander gefügt die Entwicklungstrajektorien ausmachen, auf neuronalen Wechselwirkungen beruht, die deterministischen Naturgesetzen folgen.

Diese Sicht steht im Widerspruch zu unserer Intuition, zu jedem Zeitpunkt frei darüber befinden zu können, was wir als je nächstes tun oder lassen sollen. Da gemeinhin angenommen wird, dass die Zuschreibung von Schuld, und damit einer der Grundpfeiler unserer Rechtssysteme mit der Existenz dieser Freiheit verbunden sei, werden die Grundthesen der modernen Hirnforschung mit großer Besorgnis rezipiert.

### 2.2 Wann betrachten wir Entscheidungen als frei?

Mein Anliegen ist es, einen kleinen Beitrag dazu leisten, diese Sorgen zu zerstreuen. Vielleicht nutzt es, sich zunächst zu fragen, was wir meinen, wenn wir sagen, wir hätten frei entschieden. Dabei bedarf der Klärung, wovon wir uns frei wähnen. Vielleicht meinen wir nur, dass wir uns frei entschieden hätten, wenn wir frei von äußeren und inneren Zwängen entschieden haben, wobei nicht weiter hinterfragt werden muss, welchem Mechanismus sich der Entscheidungsprozess selbst verdankt. Wir sagen gemeinhin, eine Person hätte sich frei entschieden, wenn kein Hinweis auf das Vorliegen besonderer äußerer oder innerer Zwänge besteht, wenn der Ausgang der Entscheidung nicht durch Bedrohung oder soziale Abhängigkeiten, durch neurotische Zwänge oder pathologische Triebstrukturen beeinflusst wurde. Wir gehen also offenbar davon aus, dass Entscheidungen dann frei sind, wenn sie über die bewusste Deliberation von Argumenten herbeigeführt werden und ohne den Einfluss von Faktoren erfolgen konnten, die diesen bewussten Akt von vorn herein in seinem normalen Ablauf hätten behindern können. Aus eben diesem Grund gelten nicht nur äußere und innere Zwänge, sondern auch Zustände eingeschränkten Bewusstseins als mildernde Umstände.

In der alltäglichen Praxis stellen wir demnach eine enge Verbindung her zwischen frei sein und bewusst sein. Wir attribuieren das Prädikat „frei“ jenen Entscheidungsprozessen, die bewusst erfolgen und sich somit auf jene Variablen stützen, die bewusstseinsfähig sind. Dies können jedoch nur die Variablen sein, die im Kurzzeitspeicher des Gehirns und/oder im sogenannten deklarativen Gedächtnis abgelegt wurden. Beides ist nur für Inhalte möglich, die mit Aufmerksamkeit belegt wurden. Nur die Variablen, die während ihrer Erfassung mit Aufmerksamkeit belegt und ins Bewusstsein gehoben wurden, ge-

langen in das deklarative Gedächtnis und können später wieder ins Bewusstsein gehoben werden. Ausgeschlossen bleiben dabei all die Variablen, welche Entscheidungen mit beeinflussen, doch im Augenblick der Entscheidungsfindung nicht den Weg ins Bewusstsein gefunden haben. Dies gilt für all die Lebenserfahrungen, die vor dem 3. bis 4. Lebensjahr gewonnen wurden, da diese wegen des noch nicht ausgebildeten deklarativen Gedächtnisses nicht bewusst erinnert werden können. Dazu zählen ferner die vielen grundsätzlich nicht bewusstseinsfähigen Variablen, die innere, unbewusste Bedürfnisse in den Entscheidungsprozess miteinbringen. Dann sind es all die im Prinzip bewusstseinsfähigen Variablen, die jedoch im Augenblick der Entscheidungsfindung nicht ins Bewusstsein gelangten, weil sie nicht mit der dafür notwendigen Aufmerksamkeit belegt wurden. Denn was von den im Prinzip bewusstseinsfähigen Variablen tatsächlich ins Bewusstsein gelangt, hängt wiederum ab von einer Fülle unbewusster Motive, von Verdrängungsmechanismen, von der Art der assoziativen Einbettung der abgespeicherten Inhalte, und schließlich vom Ablauf des gerade anstehenden Entscheidungsprozesses, der die selektive Aufmerksamkeit je nach Bedarf auf ganz bestimmte Inhalte richtet. Nicht zuletzt wird die Zahl der jeweils gleichzeitig verhandelbaren Argumente durch die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses begrenzt. Diese wiederum weist starke interindividuelle Variabilität auf und ändert sich zudem in Abhängigkeit von schwankender Konzentrationsfähigkeit und Wachheit.

Diese, als frei bewerteten, bewussten Deliberationen beruhen natürlich, wie alle anderen kognitiven Leistungen, auch auf neuronalen Prozessen, die vorwiegend in der Großhirnrinde ablaufen. Zu welchem Ergebnis der jeweilige Abwägungsprozess konvergiert, hängt damit von einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren ab. Zum einen sind das die Regeln, nach denen der Abwägungsprozess selbst erfolgt. Diese werden durch die funktionelle Architektur der Nervennetze, also durch die Verschaltungsweise der Nervenzellen, vorgegeben. Determinanten dieser Verschaltung wiederum sind zum einen genetische Faktoren, über welche das während der Evolution erworbene Wissen über die Bedingungen der Welt in Hirnarchitekturen übersetzt wird. Hinzu kommen die erfahrungsabhängigen frühkindlichen Prägungen, die nachhaltige Modifikationen der genetisch vorgegebenen Verschaltung bewirken, und schließlich die vorangegangenen Lernprozesse, die über Veränderungen der Effizienz der Verbindungen die neuronalen Netzwerke und damit die von ihnen getragenen Funktionen bleibend verändern. Zudem hängen der Ablauf und damit der Ausgang des jeweiligen Abwägungsprozesses natürlich von der Aktivitätskonstellation ab, die sich im Netzwerk entwickelt hat. Diese Konstellation muss ein gewisses Maß an Instabilität erreicht haben, um den Prozess in Gang zu bringen, der für den Beobachter als Entscheidungsprozess in Erscheinung tritt. Auf der Ebene der neuronalen Netzwerke sind solche instabilen Zustände dadurch charakterisiert, dass unterschiedliche, sich ausschließende Aktivierungsmuster miteinander in Konkurrenz geraten. Dabei durchläuft das System eine Folge wechselnder Zustände, wobei aufgrund der nicht-

linearen Dynamik solcher Trajektorien völlig neue Zustände auftreten können, bis sich schließlich wieder in stabiler Zustand einschwingt, eine „Lösung“ gefunden wurde, eine „Entscheidung“ stattgefunden hat. Die dynamischen Zustände des Gesamtsystems hängen dabei nicht nur von der jeweiligen Vorgeschichte ab, sondern werden fortwährend von der Summe aller sensorischen Einwirkungen beeinflusst. Auch ein eben gehörtes Argument zählt zu diesen Einflüssen. Nach seiner Verarbeitung in den Sprachzentren bestimmt dieses als neuronales Erregungsmuster die Entwicklungstrajektorie des Systems in gleicher Weise wie etwa eine frühere Erfahrung, die in der Architektur des Netzwerkes gespeichert wurde.

Oft ist die Behauptung zu hören, unsere Entscheidungen seien frei, weil sie von Argumenten abhängig sind und auf der Ebene von Argumenten verhandelt werden können. Dies bestätigt die oben formulierte Vermutung, dass frei sein mit bewusst sein gleichgesetzt wird; denn sprachlich gefasste Argumente sind Variablen, die grundsätzlich bewusstseinsfähig sind und in der Regel bewusst verarbeitet werden. Doch kann es sein, dass selbst früher gehörte, bewusst abgespeicherte Argumente im Augenblick der Entscheidungsfindung nicht den Weg ins Bewusstsein finden. Sie können dann im rationalen Abwägungsprozess nicht mitverhandelt werden. Dennoch werden sie an den gleichzeitig ablaufenden, unbewussten Abwägungen teilhaben und den bewussten Deliberationsprozess „unbemerkt“ beeinflussen.

Aus hirneurophysiologischer Sicht beruhen jedoch auch die bewusst ablaufenden Prozesse auf neuronalen Wechselwirkungen, die nach Regeln ablaufen, welche durch die Verschaltung der daran beteiligten Hirnregionen festgelegt sind. Wäre dem nicht so, würden diese Prozesse also nicht determiniert, sondern lediglich die Folge aleatorischer Zustandsänderungen, dann könnte ein Gehirn keine an die Bedingungen angepassten Entscheidungen fällen, könnte sich nicht auf Vorwissen verlassen und der aktuellen Situation Rechnung tragen. Ein Organismus, der so Entscheidungen trifft, würde am Leben scheitern. Bleibt also die Schlussfolgerung, dass auch die bewussten Entscheidungen, die sich vorwiegend auf deklaratives Wissen stützen, also auf meist sprachlich vermitteltes Kulturwissen, nach wie vor auf deterministischen Prozessen beruhen, die von einer kaum überschaubaren Vielfalt von Bedingungen abhängen, inneren und von außen herangetragenen. Dort, wo die Entscheidung vorbereitet und gefällt wird, in den entsprechenden Nervenetzen, verwandeln sich all diese Einflüsse in raumzeitlich strukturierte neuronale Erregungsmuster. Diese sind kompetitiven Selbstorganisationsprozessen unterworfen, deren Dynamik von der Systemarchitektur vorgegeben ist. Diese Prozesse bewirken, dass sich von vielen möglichen das jeweils stabilste, man könnte auch sagen, das jeweils konsistenteste beziehungsweise widerspruchsfreieste Erregungsmuster durchsetzt.

Wie also kann es sein, dass wir dennoch von freien und weniger freien Entscheidungen sprechen, und letzteren, wenn sie als Fehlentscheidungen ge-

wertet werden, mildernde Umstände zuschreiben. Ich vermute, dass der Grund hierfür darin liegt, dass unsere Selbsterfahrung lehrt, dass an unseren Entscheidungen noch mehr Variablen teilhaben als solche, die uns jeweils bewusst werden. Diese im Unbewussten wirkenden Variablen stehen miteinander ebenso in Wettbewerb wie die bewussten, nach rationalen Regeln abwägbaren Argumente. Weil sie nicht im Bewusstsein aufscheinen, vermögen wir deren Wirken nicht zu benennen, sie beeinflussen Entscheidungen jedoch in hohem Maße. Einmal bestimmen sie mit, welche der „frei“ verhandelbaren Argumente jeweils ins Bewusstsein gelangen, weil sie die Aufmerksamkeitsmechanismen steuern. Diese Aufmerksamkeit steuernde Wirkung der unbewussten Prozesse wird besonders deutlich, wenn man nach einem bestimmten Inhalt des deklarativen Gedächtnisses sucht, etwa einem Wort, und dieser bewusste Suchvorgang ergebnislos verläuft. Wir vertrauen es dann unbewussten Suchprozessen an, den entsprechenden Speicherinhalt zu suchen und ins Bewusstsein zu heben. Ferner nehmen wir die Wirkung unbewusster Abwägungsprozesse als Intuition wahr, als gutes oder schlechtes Gefühl, als angenehme oder unangenehme vegetative Begleiterscheinung des unbewussten Wettstreits. Diese unbewussten Abwägungsprozesse laufen vermutlich nach anderen, einfacheren Regeln ab als die bewussten, die sich auf kulturell vereinbarte, in der Sprachlogik fixierte Regeln stützen. Dafür können aber im Unterbewusstsein sehr viel mehr Variablen gleichzeitig miteinander verrechnet werden als dies im Bewusstsein möglich wäre, weil die Kapazität des Bewusstseins in hohem Maße beschränkt ist. Der klinische Blick ist hierfür das adäquate Beispiel. Der erfahrene Arzt erfasst eine Fülle von beobachtbaren Variablen, von denen ihm jeweils nur ein kleiner Teil wirklich bewusst wird, und vergleicht diese mit einem ungeheuren Erfahrungsschatz, von dem auch nur ein Bruchteil jeweils im Bewusstsein explizit ist, und urteilt nach, wie er sagt, seinem „Gefühl“. Meist ist er dabei ebenso treffsicher als wenn er Laborwerte explizit mit gespeicherten Normwerten vergleicht und daraus seine Schlussfolgerungen zieht.

Wir verfügen also über zwei parallel agierende Entscheidungsmechanismen, die sich gegenseitig beeinflussen, die aber nicht notwendig zu dem gleichen Ergebnis führen müssen. Im Fall von Widersprüchen sagen wir, wenn die unbewussten, sich in Intuitionen ausdrückenden Entscheidungsmechanismen über die expliziten, bewussten siegen, wir hätten uns wider besseres Wissen entschieden. Im umgekehrten Fall sagen wir, wir hätten gegen unser Gespür entschieden. In beiden Fällen haben wir das Gefühl, nicht ganz frei entschieden zu haben, und sind mit der Entscheidung nicht zufrieden. Dies verweist darauf, dass wir von einer wirklich freien Entscheidung noch mehr verlangen als nur, dass sie auf der Verhandlung bewusstseinsfähiger Argumente beruht. Wir wollen die Entscheidung auch frei wissen von Widersprüchen, die nicht selten als Zwang erlebt werden, die aus der Dissonanz zwischen unbewussten und bewussten Motiven entstehen. So betrachtet, gibt es dann quantitative Abstufungen hinsichtlich der Freiheit einer Entscheidung. Gänzlich frei, und

im Sinne der Zurechenbarkeit von allen mildernden Umständen ausgenommen wären demnach Entscheidungen, die unter Heranziehung aller bewusstseinsfähigen Argumente frei von äußeren und inneren Zwängen getroffen werden. Unter äußeren Zwängen wären dabei alle Bedrohungen zu verstehen, die als Konsequenz einer bestimmten Entscheidung antizipiert werden. Zu den inneren Zwängen wären zu rechnen all die Faktoren, welche die Rekrutierung von bewusstseinsfähigen Argumenten einschränken, aber auch die unbewussten Motive, welche bewusste Entscheidungen in bestimmte Richtungen lenken. Ferner wäre Voraussetzung für so definierte „freie“ Entscheidungen, dass zum Zeitpunkt der Entscheidung keine, das Bewusstsein und dessen Kapazität einschränkenden Bedingungen herrschen dürfen.

Ich denke, dass bei dieser Betrachtungsweise deutlich wird, wie fragwürdig der Versuch ist, jeweils im Nachhinein festzustellen, wie frei eine bestimmte Entscheidung war, wobei mit „frei“ nur gemeint ist, wie unbehindert von äußeren und inneren Zwängen der bewusste Deliberationsprozess ablaufen konnte, auch wenn dieser selbst sich natürlich deterministischen neuronalen Prozessen in der Großhirnrinde verdankt. Eine objektive Feststellung dieser Freiheit ist jedoch erforderlich, wenn Freiheit als Voraussetzung für Schuldfähigkeit gesehen, und diese wiederum zur Strafbemessung herangezogen wird. Das dem so ist, geht aus der Praxis hervor. Richter sehen sich offensichtlich häufig außerstande, diese Abwägung vorzunehmen und bemühen dann den forensischen Psychiater. Dieser verfügt über einen Katalog etablierter Kriterien zur Abgrenzung von normalen und pathologischen psychischen Konstellationen. Er kann dem Richter Auskunft darüber geben, ob die Hirnfunktionen des Täters hinsichtlich bestimmter Eigenschaften der Norm entsprechen. Dabei wird offensichtlich vor allem geprüft, ob der Delinquent in der Lage war, in vollem Besitz seines Bewusstseins zu entscheiden. Was aber ist damit gewonnen, wenn auch der bewusste Deliberationsprozess auf neuronalen Vorgängen beruht, die ihrerseits durch genetische Dispositionen, frühe Prägungen und erlernte Routinen in idiosynkratischer Weise in einer für das Individuum spezifischen Weise ablaufen. Es lässt sich dann lediglich die Feststellung machen, dass der bewusste Deliberationsprozess, der zu der fatalen, strafwürdigen Entscheidung führte, zwar frei von sichtlichen äußeren und inneren Zwängen ablaufen konnte, dass er aber den bekannten Ausgang nahm, weil die den neuronalen Abwägungsprozess determinierenden Bedingungen so ausgelegt sind, dass eben diese und keine andere Entscheidung fallen konnte.

Folgendes Beispiel macht die Problematik des Versuchs deutlich, das Maß der jeweils verfügbaren „Freiheit“ und damit die Größe der subjektiven „Schuld“ zu objektivieren. Findet sich bei einem Delinquenten, der ganz offensichtlich bei vollem Bewusstsein und ohne Zeitdruck eine fatale Aktion ausgeführt hat, durch Zufall im Nachhinein eine Läsion im Präfrontallhirn, welche die Bahnen unterbrochen hat, die den Ort, wo ethische Normen gespeichert sind, mit den

Zentren verbinden, deren Aktivierung erforderlich ist, um Handlungen zu unterdrücken, so würden dem Delinquenten im nachhinein mildernde Umstände zugesprochen. Den gleichen Effekt wie makroskopisch feststellbare Läsionen können jedoch unsichtbare Fehlverschaltungen haben, die ihrerseits auf vielfältigste Ursachen zurückgehen können. Hierzu zählen genetische Dispositionen, fehlerhaft verlaufene Entwicklungs- und Prägungsprozesse und die ungenügende oder falsche Einschreibung von Lerninhalten. Ferner muss mit ebenfalls unsichtbaren und im Nachhinein nicht mehr nachvollziehbaren Veränderungen im Gleichgewicht neurochemischer Prozesse gerechnet werden oder mit akzidentellen Entgleisungen der Systemdynamik. Es muss also davon ausgegangen werden, dass jemand tat, was er tat, weil just in dem Augenblick sein Gehirn zu keiner anderen Entscheidung kommen konnte, gleichgültig, wieviel bewusste oder unbewusste Faktoren tatsächlich beigetragen haben.

Daraus folgt selbstverständlich nicht, dass abweichendes Verhalten nicht sanktioniert werden darf. Denn dann dürften wir auch unsere Kinder, denen wir Schuldfähigkeit absprechen, weil sie nur über eine eingeschränkte deklarative Kompetenz verfügen und weniger als Erwachsene zur bewussten Verarbeitung von Argumenten fähig sind, für das, was sie tun, weder bestrafen noch belobigen. Wir ziehen die Kinder zur Rechenschaft für das, was sie tun, selbst wenn wir ihnen nur begrenzte Schuldfähigkeit zuschreiben, denn wir machen sie verantwortlich für das, was sie tun. Wir bestrafen und belohnen das Kind in der Absicht, seine Hirnarchitektur so zu prägen, dass es später Entscheidungen treffen wird, die mit den sozialen Normen der Gesellschaft, in welche es integriert werden soll, konform sind.

Und so stellt sich die Frage, ob es nicht zur Klarheit beitrüge, wenn man andere Terminologien verwendete. Selbstverständlich bleibt die Notwendigkeit zur Zuschreibung von Verantwortung unberührt, denn wer sonst als das handelnde Individuum könnte die Tat verantworten. Nachdem sich das, was mit „Freiheit“ gemeint ist, offensichtlich nur auf einen kleinen Teil der kognitiven Leistungen von Gehirnen bezieht, nämlich auf die Fähigkeit zur bewussten Abwägung von Argumenten, also Inhalten des deklarativen Gedächtnisses, wäre es vielleicht tunlicher, von Mündigkeit zu sprechen. Je mündiger eine Person ist, umso mehr ist sie in der Lage, sich Argumente bewusst zu machen und diese nach sprachlogischen Regeln, welche die jeweilige Gesellschaft vorgibt, abzuwägen und dabei jenes Wissen heranzuziehen, das im deklarativen Gedächtnis gespeichert ist. Dabei handelt es sich ganz vorwiegend um explizites, sprachlich fassbares Wissen. Mündigkeit also, verstanden im Sinne von Sagbarkeit. Was also geschähe, wenn wir den diffusen und mit unterschiedlichsten Konnotationen befrachteten Begriff der Freiheit aufgäben und statt dessen sprächen von der Kohärenz oder Inkohärenz bewusster und unbewusster Prozesse, von der interindividuell stark schwankenden Fähigkeit zur rationalen Verhandlung bewusstseinsfähiger Inhalte (diese Fähigkeit

könnte man als Mündigkeit bezeichnen) und von Strafe als Sanktion für abweichendes Verhalten, die sich nicht an der Schwere der subjektiven Schuld orientiert, sondern lediglich an der Normabweichung der Handlung. Zumindest im akademischen Bereich könnte diese Begriffsklärung hilfreich sein. Gleichwohl kann es sich als zweckmäßig erweisen, im Rechtsalltag und im Selbstverständnis der Gesellschaft an den Begriffen „Freiheit“, „Schuld“ und „Strafe für Schuld“ festzuhalten, weil jeder, der in unserem Kulturkreis erzogen wurde, damit zwar vage, aber zumindest konsensfähige Inhalte seiner Selbsterfahrung benannt findet.

### 2.3 Warum erfahren wir unsere Entscheidungen als frei?

Falls zutrifft, was die Hirnforschung über die neuronalen Grundlagen von Entscheidungsprozessen behauptet, stellt sich die Frage, wie es sein kann, dass sich unsere Intuition irrt, wenn sie sich auf das Organ richtet, dem sie sich verdankt, wenn sie zu ergründen sucht, wie unsere Gehirne organisiert sind und nach welchen Prinzipien sie ihre erstaunlichen Leistungen erbringen. Wie kann es sein, dass die Selbstauskunft, die ein kognitives System über sich gibt, nicht übereinstimmt mit den Ergebnissen, die es erzielt, wenn es sich mit naturwissenschaftlichen Methoden daran macht, seine Bedingungen zu erforschen? Warum haben wir kein rechtes Gefühl für die Funktionsabläufe in unserem Gehirn, die dieses Gefühl hervorbringen? Wie eingangs erwähnt, scheint es uns, als gäbe es in unserem Kopf eine zentrale Instanz, die wir mit unserem bewussten Ich gleichsetzen und die über all die wunderbaren Fähigkeiten verfügt, die uns Menschen ausmachen. Offenbar vermag es diese Instanz, sich der Signale unserer Sinnesorgane zu bedienen, um ein kohärentes Bild der Welt zu entwerfen und sich als autonom agierendes Wesen in einer als lückenlos wahrgenommenen Welt zu erleben. Sie vermag die Objekte der Welt zu benennen und in Kategorien zu ordnen, Wissen über die Welt zu erlangen und zu speichern, die Gesetzmäßigkeiten von Wechselwirkungen zu erfassen, daraus Schlüsse zu ziehen, Voraussagen zu formulieren, Entscheidungen zu treffen, Handlungen zu planen und auszuführen, diese Prozesse mit wertenden emotionalen Konnotationen zu versehen und sich all dieser Vorgänge zudem bewusst zu sein, sie sich vor dem inneren Auge zu gewärtigen. Weil diese Intuition so evident ist, nimmt nicht Wunder, dass im Laufe der Kulturgeschichte immer wieder Spekulationen darüber angestellt wurden, wo im Gehirn diese allmächtige und alles kontrollierende Instanz sich konstituieren könnte. Es müsse dies, so die plausible Annahme, ein singulärer Ort sein, an dem alle Informationen über die inneren und äußeren Bedingungen verfügbar sind, an dem Entscheidungen getroffen werden und von wo aus alle Handlungen initiiert werden. Selbst Descartes, der die mentalen Prozesse als nicht an die materiellen Vorgänge im Gehirn gebunden, sondern diesen vorgängig sah, der also für die frei schwebende „res cogitans“ eigentlich keiner

Verortung bedurft hätte, selbst Descartes glaubte, nicht ohne eine singuläre lokalisierbare Instanz auskommen zu können. Zumindest die an neuronales Substrat gebundenen materiellen Prozesse im Gehirn bedürften einer zentralistischen Organisation, bedürften eines Zentrums, in dem alle sensorischen und exekutiven Funktionen miteinander verbunden werden können.

Wie oben angedeutet, könnte der Gegensatz zwischen dieser, aus der Intuition gespeisten Vorstellung über die Organisation unseres Gehirns und den heute verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnissen kaum drastischer sein. Da aus der Intuition gespeiste Vorstellungen allen Menschen gleichermaßen zugänglich sind, neurobiologische Erkenntnisse aber gemeinhin als Expertenwissen gewertet werden, soll auf letztere hier etwas ausführlicher eingegangen werden. Untersuchungen der strukturellen und funktionellen Organisation unseres Gehirns belegen, dass es sich hierbei um ein Organ handelt, das in hohem Maße dezentral und distributiv organisiert ist, dass in ihm eine Vielzahl von unterschiedlichen Prozessen parallel in sensorischen und motorischen Subsystemen ablaufen und dass es kein singuläres Zentrum gibt, welches diese verteilten Prozesse verwaltet. An der funktionellen Organisation der Großhirnrinde lässt sich dies besonders gut veranschaulichen. Die Hirnrinde ist die letzte große Erfindung in der Evolution von Gehirnen, denn seit ihrem ersten Auftreten bei niederen Wirbeltieren gab es keine wesentlichen strukturellen Neuerungen. Im Laufe der Evolution nimmt das Volumen der Hirnrinde kontinuierlich zu, wodurch sich die Komplexität der Vernetzungsmöglichkeiten dramatisch erhöht, aber die interne Verschaltung der neuen Areale bleibt unverändert. Es bestätigt dies aufs Neue, wie konservativ die Evolution ist. Nicht nur, dass die molekularen Bausteine von Nervenzellen und die Mechanismen der Signalübertragung seit dem Auftreten einfacher Nervenetze bei Mollusken nahezu unverändert erhalten geblieben sind, auch die Regeln, nach denen Nervenetze Information verarbeiten und speichern, haben sich seither nur wenig verändert. Die bestimmenden Entwicklungsschritte beruhten im Wesentlichen auf einer ungeheuren Zunahme der Komplexität der Vernetzung von Nervenzellen, die in der Großhirnrinde des Menschen ihren vielleicht nur vorläufigen, vielleicht aber auch endgültigen Höhepunkt erreicht hat. Die Großhirnrinde ist modular aufgebaut, wobei ein Modul einem Gewebezylinder mit einem Radius von einem halben Millimeter und einer Länge von etwa 2 Millimetern – also der Dicke der Großhirnrinde entspricht. In einer solchen Gewebesäule, in der Fachsprache nennen wir sie Kolumne, drängen sich, in sechs Schichten angeordnet, etwa 100.000 Nervenzellen, von denen jede mit durchschnittlich 20.000 anderen kommuniziert. Die Gesprächspartner können dabei in unmittelbar benachbarten Kolumnen, aber auch in weit entfernten Hirnstrukturen liegen. Bemerkenswert ist bei dieser astronomisch anmutenden Komplexität, die in ihrer Dimensionalität der des Universums nicht nachsteht, die globale Gleichförmigkeit. Die Verschaltung der Nervenzellen innerhalb solcher Kolumnen ist naturgemäß von außerordentlicher Komplexität und nur im Groben aufgeklärt, aber sie folgt

festen Regeln und diese sind für alle Kolumnen gleich. Da die Verarbeitungsprozesse in Nervennetzen anders als in Computern nicht von getrennten Programmen gesteuert werden, sondern ausschließlich durch die Verschaltung der Nervenzellen determiniert werden, folgt, dass die von diesen Modulen erbrachten Rechenoperationen für alle Hirnrindenareale dieselben sind, ob sie sich mit der Verarbeitung von visuellen, akustischen oder taktilen Signalen befassen oder der Analyse von Sprache oder der Programmierung von Bewegungen. Der Evolution ist hier offensichtlich die Realisierung eines informationsverarbeitenden Prinzips gelungen, das sich zur Bewältigung unterschiedlichster Aufgaben gleichermaßen eignet. Dies stellt uns vor zwei noch nicht befriedigend beantwortbare Fragen:

1. Welches mächtige und universelle Prinzip ist hier verwirklicht?
2. Wie kann es sein, dass durch die Vermehrung solcher universeller Module all die neuen Phänomene in die Welt kamen, die wir mit mentalen Prozessen verbinden und die uns so nachhaltig von anderen Primaten unterscheiden; Qualitäten, die es uns Menschen erlaubten, der biologischen Evolution die kulturelle hinzuzufügen?

Dass komplexe Systeme fähig sind, durch quantitative Vermehrung ihrer Komponenten Phasenübergänge zu neuen Aggregatzuständen zu durchlaufen und dabei Eigenschaften hervorzubringen, die sich qualitativ nicht nur von den Komponenten, sondern auch von bisherigen Zuständen unterscheiden, ist uns geläufig. Aber wie ist vorstellbar, dass allein die Vermehrung von Großhirnrinde und der dazugehörigen Servicestrukturen zur Emergenz von Leistungen führte, die es uns erlaubten, der materiellen Welt eine geistige Dimension hinzuzufügen, uns unserer Wahrnehmungen und Gefühle gewahr zu werden, eine Innensicht unserer psychischen Verfasstheit zu gewinnen und diese Fähigkeit auch unserem Gegenüber zuzuschreiben? Wir erfahren diese mentalen Phänomene als ebenso real wie die greifbaren Phänomene der dinglichen Welt, wir können sie benennen, sprachlich fassen und uns in diesen Konstrukten der materiellen Welt als autonome Wesen gegenüberstellen, die über eine geistige Dimension verfügen. In dieser Dimension, existieren benennbare Phänomene, die in der materiellen Welt keine Entsprechung haben und die traditionell Forschungsgegenstand der Geisteswissenschaften sind: Empfindungen, Wertungen, Moral, Intentionalität, Schuld, ästhetische Kategorien, kurzum, all das, was erst durch den Menschen in die Welt kam. Was also ist geschehen?

Die Evolution hat die Module der Hirnrinde hervorgebracht und einen genialen Weg entdeckt, diese so miteinander zu verschalten, dass durch deren Vermehrung immer differenziertere kognitive Leistungen realisiert werden konnten. In Gehirnen mit vergleichsweise niedriger Komplexität finden sich diese Module zu einigen wenigen sensorischen und motorischen Rindenarealen zusammengefasst. Diesen Arealen obliegt es, die Signale aus den verschiedenen Sinnesorganen zu verarbeiten, sie mit der in ihnen gespeicherten Information

zu vergleichen, und so aufzubereiten, dass die motorischen Areale daraus angepasste Verhaltensreaktionen ableiten können. Dabei kommunizieren die verschiedenen Sinnessysteme mit den exekutiven Strukturen über kurze Wege und vermitteln ihre Botschaften parallel und weitestgehend unabhängig voneinander. Dies ist der Grund, warum niedere Tiere nicht gut generalisieren, nicht gut vom einen aufs andere schließen können. In komplexeren Gehirnen kommen immer mehr Areale hinzu, die sich nicht mehr direkt mit der Verarbeitung sensorischer Signale befassen, sondern vorwiegend mit der Weiterverarbeitung und Rekombination der Ergebnisse, die in den vorgelagerten, evolutionär älteren Arealen erarbeitet wurden. Bei Primaten widmen sich allein etwa 30 verschiedene, vorwiegend parallel arbeitende und eng miteinander vernetzte Areale den verschiedenen Aspekten der von den Augen erfassten und in der primären Sehrinde aufbereiteten visuellen Signale. Ein ventraler Teil analysiert Aspekte, die der Identifikation und Klassifikation von Objekten dienen, Konturlinien, Formmerkmale, Texturen, Farbwerte und viele mehr. Ein dorsaler Teil befasst sich mit Merkmalen, die erfasst werden müssen, um Objekte zielsicher greifen und manipulieren zu können, also deren äußere Form, Position und Bewegung. Verletzungen der ventralen Areale führen entsprechend zu Ausfällen der Formwahrnehmung: Objekte verlieren ihre Farbe oder Gesichter können nicht mehr erkannt werden, und in extremen Fällen wird es unmöglich, Objekte überhaupt zu identifizieren und zu benennen. Man spricht dann von visueller Agnosie. Erhalten bleibt dabei die Fähigkeit, Bewegungen wahrzunehmen oder Objekte zu greifen und ihrer Funktion entsprechend zu manipulieren. Umgekehrt verlieren Patienten mit Läsionen im dorsalen Verarbeitungspfad die Fähigkeit, Objekte zu ergreifen und zu manipulieren, haben jedoch kein Problem, sie zu erkennen und zu benennen. Man spricht dann von visueller Ataxie.

Parallel zur Vermehrung dieser höheren sensorischen Areale, die sich in allen Sinnesmodalitäten vollzieht, treten Areale hinzu, die sich mit der Vermittlung zwischen den Modalitäten befassen, die Assoziationsareale. Ihnen obliegt es, Gleiches im Verschiedenen herauszuarbeiten und modalitätsunabhängige, abstraktere Repräsentationen von Wahrnehmungsobjekten zu erstellen. In den Spracharealen des Menschen erreicht diese symbolhafte Erfassung des Wahrgenommenen seine höchste Abstraktion. Hinzu kommen Areale im Frontalhirn, die sich mit der Abspeicherung und Bearbeitung vorverarbeiteter, hoch abstrahierter Inhalte befassen wie sozialen Wertesystemen und Verhaltenscodices. Benachbarten Arealen obliegt es, die Ergebnisse der vielen gleichzeitig ablaufenden Prozesse gegeneinander abzuwägen, ausgewählte mit Aufmerksamkeit zu belegen und solange im Kurzzeitspeichern abzulegen, bis sie entweder nicht mehr gebraucht oder in die Langzeitspeicher verschoben werden. Und schließlich hat sich in den Stirn- und Schläfenlappen ein Netzwerk von Arealen herausgebildet, das uns befähigt, uns als mit uns identisch zu begreifen. Dieses Netzwerk reift auch in der Individualentwicklung spät aus, weshalb kleine Kinder noch keine Vorstellung von ihrer Identität entfalten können.

Die gegenwärtig plausibelste Annahme ist, dass sich die hohen, spezifisch menschlichen kognitiven Leistungen dem Auftreten von Hirnrindenarealen verdanken, deren Aufgabe es ist, die Verarbeitungsergebnisse aus bereits vorhandenen Arealen in vielfältigen Rekombinationen erneut zu bearbeiten – und zwar nach den gleichen Algorithmen, die von sensorischen Arealen bei der Bearbeitung von Sinnessignalen angewandt werden. Diese Iteration von kognitiven Operationen immer gleichen Grundmusters befähigt uns offenbar, über hirnterminale Vorgänge Protokoll zu führen, uns unserer eigenen sensorischen Prozesse gewahr zu werden, sie zu benennen und uns der Entscheidungen und Handlungsentwürfe, die sich im System konstituieren, zumindest zum Teil bewusst zu werden.

Faszinierend ist dabei die Geschlossenheit der hochentwickelten Gehirne. Nervenzellen in evolutionsgeschichtlich jungen Arealen kommunizieren ausschließlich mit ihresgleichen. Im Vergleich zu den Myriaden von Verbindungen zwischen den zig Milliarden von Hirnrindenneuronen spielen die Verbindungen mit den Sinnesorganen und den Effektoren nur mehr eine marginale Rolle. So machen die Verbindungen zwischen den Augen und den Neuronen in der primären Sehrinde gerade einmal 1 % der Synapsen, der Kontakte zwischen Nervenzellen aus. Hochentwickelte Gehirne beschäftigen sich also vorwiegend mit sich selbst und verhandeln die ungeheure Menge von Informationen über die Welt, die in ihrer Architektur gespeichert ist. So kommt es, dass sich die Aktivitätsmuster, die auftreten, wenn sich Menschen etwas vorstellen oder das Vorgestellte tatsächlich vor Augen haben, kaum unterscheiden. Im Traum und bei Halluzinationen verschwinden diese Unterschiede gänzlich, weshalb dann Imagination und Realität eins werden.

Wenn es im Gehirn keine zentrale, allen Subprozessen übergeordnete Instanz gibt, wie wird dann die Zusammenarbeit der Milliarden von Zellen in den mit verschiedenen Aufgaben betrauten Arealen der Großhirnrinde koordiniert, wie kann das Gehirn als Ganzes stabile Aktivitätsmuster ausbilden, wie können sich die verteilten Verarbeitungsprozesse zur Grundlage kohärenter Wahrnehmungen formieren, wie findet ein so distributiv organisiertes System zu Entscheidungen, woher weiß es, wann die verteilten Verarbeitungsprozesse ein Ergebnis erzielt haben, wie beurteilt es die Verlässlichkeit des jeweiligen Ergebnisses, und wie vermag es fein aufeinander abgestimmte Bewegungen zu steuern? Auf irgendeine Weise müssen die Ergebnisse der verteilten sensorischen Prozesse zusammengebunden werden, weil unsere Wahrnehmungen kohärent und nicht fragmentiert sind; und auch für die Steuerung des Gesamtsystems und die Koordination von Handlungen scheint eine zentrale Instanz unerlässlich. Wie bereits angedeutet, gibt es aber weder einen singulären Ort, zu dem alle sensorischen Systeme ihre Ergebnisse senden könnten, noch gibt es eine zentrale Lenkungs- und Entscheidungsinstanz. Offensichtlich hat die Evolution das Gehirn mit Mechanismen zur Selbstorganisation ausgestattet, die in der Lage sind, auch ohne eine zentrale koordinierende In-

stanz Subprozesse zu binden und globale Ordnungszustände herzustellen. Der Vergleich mit Superorganismen liegt nahe. Auch Ameisenstaaten kommen ohne Zentralregierung aus. Die Mitglieder des Staates kommunizieren über ein eng gewebtes Netzwerk von Signalsystemen und passen ihr individuelles Verhalten entsprechend der lokal verfügbaren Information an. Auch hier hat die Evolution eine geniale Interaktionsarchitektur entwickelt, die sicher stellt, dass sich die Myriaden der lokalen Wechselwirkungen zu global geordneten Systemzuständen fügen.

Wir sind vermutlich noch weit davon entfernt, die Prinzipien zu verstehen, nach denen sich die verteilten Prozesse im Gehirn zu kohärenten Zuständen verbinden, die dann als Substrat von Wahrnehmungen, Vorstellungen, Entscheidungen und Handlungssequenzen dienen könnten. Wir verfügen jedoch über eine experimentell überprüfbare Hypothese, die sich am Beispiel von Bindungsproblemen verdeutlichen lässt, die bei der Verarbeitung sensorischer Signale auftreten. Aufgrund ihrer spezifischen Verschaltung reagieren die Nervenzellen in der Sehrinde selektiv auf elementare Merkmale visueller Objekte: auf Konturen, Texturen, Farbkontraste und Bewegungen. Da sich auf höheren Verarbeitungsstufen Neuronen finden, die auf relativ komplexe Kombination solcher elementaren Merkmale ansprechen, wurde vermutet, dass die Bindung elementarer Merkmale zu Repräsentationen ganzer Objekte dadurch erfolgen könnte, dass die Antworten der elementaren Merkmalsdetektoren in Zellen höherer Ordnung so integriert werden, dass diese Zellen selektiv auf die Merkmalskonstellation einzelner Objekte reagieren. Es müsste dann für jedes wahrgenommene Objekt eine spezialisierte Nervenzelle geben, deren Antwort das Vorhandensein eben dieses Objektes signalisiert. Diese Erwartung ließ sich experimentell nicht bestätigen, und es gibt gute Gründe, warum die Natur diese Option zur Bindung verteilter neuronaler Signale nur für die Repräsentation sehr häufig vorkommender oder sehr bedeutsamer Objekte gewählt hat. Es würde diese Strategie eine astronomisch große Zahl hochspezialisierter Zellen erfordern, um alle wahrnehmbaren Objekte in all ihren unterschiedlichen Erscheinungsformen zu repräsentieren. Zudem wäre es unmöglich, neue, noch nie gesehene Objekte zu repräsentieren und wahrzunehmen, da schwer vorstellbar ist, dass sich im Laufe der Evolution für alle möglichen Objekte entsprechend spezialisierte Zellen ausgebildet haben. Hochentwickelte Gehirne wenden deshalb eine komplementäre, wesentlich flexiblere Strategie an. Objekte der Wahrnehmung, gleich ob es sich um visuell, akustisch oder taktil erfasste handelt, werden durch eine Vielzahl von gleichzeitig aktiven Neuronen repräsentiert, wobei jedes einzelne nur einen Teilaspekt des gesamten Objektes kodiert.

Die nicht weiter reduzierbare neuronale Entsprechung eines kognitiven Objektes wäre demnach ein raumzeitlich strukturiertes Erregungsmuster in der Großhirnrinde, an dessen Erzeugung sich jeweils eine große Zahl von Zellen beteiligt. Ähnlich wie mit einer begrenzten Zahl von Buchstaben durch Re-

kombination nahezu unendlich viele Worte und Sätze gebildet werden können, lassen sich durch Rekombination von Neuronen, die lediglich elementare Merkmale kodieren, nahezu unendlich viele Objekte der Wahrnehmung repräsentieren, selbst solche, die noch nie zuvor gesehen wurden. An der Repräsentation eines freudig bellenden, mit dem Schwanz wedelnden, gerade getätschelten Hundes müssen sich Neuronen aus weit entfernten Hirnrindenarealen zu einem kohärenten Ensemble zusammenschließen: Zellen des Sehsystems, die visuelle Attribute des Hundes kodieren, müssen mit Zellen des auditorischen Systems kooperieren, welche sich an der Kodierung des Gebells beteiligen, Zellen des taktilen Systems müssen Informationen über die Beschaffenheit des Fells beisteuern und Zellen des limbischen Systems werden benötigt, um emotionale Bewertungen hinzuzufügen, um anzugeben, ob das Gebell freudig oder bedrohlich ist. All diese verteilten Informationen müssen zu einem kohärenten Gesamteindruck zusammengebunden werden, ohne sich an einem bestimmten Ort zu vereinen. Ferner muss dafür gesorgt werden, dass nur die Signale miteinander gebunden werden, die vom gleichen Objekt herrühren, dass die Signale vom Hund getrennt bleiben von Signalen, die von anderen, gleichzeitig wahrgenommenen Objekten herrühren, von Kindern etwa, die sich an der Streichelaktion beteiligen und einer miauenden Katze, die ebenfalls Zuwendung sucht. Bei dieser Kodierungsstrategie müssen die Erregungsmuster der Neuronen demnach zwei Botschaften gleichzeitig vermitteln. Zusätzlich zu der Botschaft, dass das Merkmal, für welches sie kodieren, vorhanden ist, müssen sie angeben, mit welchen anderen Neuronen sie gerade gemeinsame Sache machen. Einigkeit besteht, dass die Amplitude der Erregung eines Neurons Auskunft darüber gibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein bestimmtes Merkmal vorhanden ist. Heftig diskutiert wird jedoch die Frage, worin die Signatur bestehen könnte, die angibt, welche Neuronen jeweils gerade miteinander verbunden sind und ein kohärentes Ensemble bilden.

Wir haben vor mehr als einer Dekade beobachtet, dass Neurone in der Sehrinde ihre Aktivitäten mit einer Präzision von einigen tausendstel Sekunden synchronisieren können, wobei sie meist eine rhythmisch oszillierende Aktivität in einem Frequenzbereich um 40 Hz annehmen. Wichtig war dabei die Beobachtung, dass Zellen vor allem dann ihre Aktivität synchronisieren, wenn sie sich an der Kodierung des gleichen Objektes beteiligen. Wir leiteten daraus die Hypothese ab, dass die präzise Synchronisierung von neuronalen Aktivitäten die Signatur dafür sein könnte, welche Zellen sich temporär zu funktionell kohärenten Ensembles gebunden haben. Wie so oft erweist es sich, dass die ursprüngliche Beobachtung nur die Spitze des Eisbergs war und dass die funktionellen Bedeutungen der beobachteten Synchronisationsphänomene weit über die zunächst vermuteten hinausgehen. Die vielleicht spannendsten Implikationen könnten die jüngsten Untersuchungen an schizophrenen Patienten haben. Sie verweisen darauf, dass in den Gehirnen dieser Patienten die Synchronisation neuronaler Aktivitäten gestört und unpräzise ist. Wenn zutrifft, dass Synchronisation der Koordination von parallel erfolgenden,

räumlich verteilten neuronalen Operationen dient, könnte dies manche der dissoziativen Phänomene erklären, welche diese geheimnisvolle Krankheit charakterisieren. Die Befunde könnten dann tatsächlich Hinweise für eine gezielte Suche nach den pathophysiologischen Mechanismen liefern, die zu dieser Erkrankung führen.

Vieles spricht also dafür, dass wir uns als neuronales Korrelat von Wahrnehmungen komplexe, raumzeitliche Erregungsmuster vorstellen müssen, an denen sich jeweils eine große Zahl von Nervenzellen in wechselnden Konstellationen beteiligen. Je nach der Struktur des Wahrgenommenen können solche koordinierten Zustände weite Bereiche der Großhirnrinde umfassen. Da wir in der Regel mehrere Objekte gleichzeitig wahrnehmen, zwischen ihnen Bezüge herstellen und diese im Kontext der einbettenden Umgebung erfahren, müssen sich zudem in den Nervennetzen der Großhirnrinde mehrere unterschiedliche Ensembles ausbilden können, die zwar voneinander getrennt sein, aber doch in Wechselwirkung stehen müssen. Noch wissen wir nicht, wie dies bewerkstelligt wird. Eine Möglichkeit wäre, dass Ensembles, die unterschiedliche Objekte repräsentieren, in unterschiedlichen Frequenzbereichen synchron schwingen. Wie immer auch die Lösungen für die vielfältigen Koordinationsprobleme in unseren dezentral organisierten Gehirnen aussehen werden, fest steht schon jetzt, dass die dynamischen Zustände der vielen Milliarden miteinander wechselwirkenden Neuronen der Großhirnrinde ein Maß an Komplexität aufweisen, das unser Vorstellungsvermögen übersteigt. Dies bedeutet nicht, dass es uns nicht gelingen kann, analytische Verfahren zu entwickeln, mit denen sich diese Systemzustände erfassen und in ihrer zeitlichen Entwicklung verfolgen lassen. Aber die Beschreibungen dieser Zustände werden abstrakt und unanschaulich sein. Sie werden keine Ähnlichkeit aufweisen mit den Wahrnehmungen und Vorstellungen, die auf diesen neuronalen Zuständen beruhen.

Intuitiv nachvollziehbar ist uns vielleicht noch, dass die Wahrnehmung komplexer dynamischer Strukturen wie Sprache oder Musik auf einer Abfolge ebenfalls komplexer, sich ständig wandelnder Erregungsmuster beruhen muss. Doch selbst hier wird es sich keinesfalls um isomorphe Abbildungen handeln. Tonhöhen werden nicht einfach in neuronale Schwingungen unterschiedlicher Frequenz umgesetzt, sondern sie werden wie Merkmale behandelt, für deren Kodierung Nervenzellen vorgesehen sind. Gänzlich kontraintuitiv ist die Vorstellung, dass das neuronale Korrelat der Wahrnehmung eines taktil oder visuell erfassten soliden Objekts ebenfalls ein hoch abstraktes räumlich und zeitlich strukturiertes Erregungsmuster sein könnte und dass die Repräsentation eines dreidimensionalen, greifbaren Objektes auf die gleiche Weise erfolgen könnte wie die Repräsentation eines Geruches, einer Emotion oder einer Handlungsintention. Immer wird es sich um einen von nahezu unendlich vielen möglichen Zuständen handeln, den ein komplexes System mit hochgradig nichtlinearer Dynamik einzunehmen in der Lage ist. Anders aus-

gedrückt könnte man sagen, das System bewege sich fortwährend von einem Punkt zum nächsten in einem unvorstellbar hochdimensionalen Raum möglicher Zustände, wobei die Trajektorie dieser Bewegung von der Gesamtheit aller inneren und äußeren Einwirkungen abhängt, denen das System ausgesetzt ist. Auf dieser Wanderung verändert sich das System fortwährend, weil seine funktionelle Architektur durch die dabei gemachten Erfahrungen ständig verändert wird. Es kann deshalb niemals je an den gleichen Ort zurückkehren, und dies ist der Grund dafür, dass wir Zeit als nicht umkehrbar erleben. Das gleiche Objekt wird, wenn es zum zweiten Mal gesehen wird, einen anderen dynamischen Zustand bewirken als beim ersten Mal, es wird zwar als das Gleiche erkannt werden, aber in dem neuen Zustand wird mitkodiert, dass es schon einmal gesehen wurde.

Diese Überlegungen lassen erahnen, mit welcher abstrakten Beschreibungen von Systemzuständen wir es zu tun haben werden, wenn wir tiefer in die funktionellen Abläufe unserer Gehirne eindringen, und sie bringen uns zurück zu der eingangs gestellten Frage, warum unser Vorstellungsvermögen so wenig geeignet ist, über die Vorgänge im Gehirn Auskunft zu geben, die diesem Vermögen zu Grunde liegen.

Ich vermute, dass es an der evolutionären Anpassung unserer kognitiven Leistungen an eine Welt liegt, in der es keinen Vorteil brachte, sich mit nichtlinearen, hochdimensionalen dynamischen Prozessen zu befassen. Eine der wichtigsten Funktionen von Nervensystemen ist, lebensnotwendige Information aus der Umwelt aufzunehmen, Gesetzmäßigkeiten ausfindig zu machen, daraus zutreffende Modelle abzuleiten und aufgrund dieses Wissens optimal angepasste Verhaltensstrategien zu entwerfen. All dies dient der Sicherung des Überlebens in einer gefährlichen, sich stetig wandelnden Welt. Die Größe von Tieren, die Nervensysteme entwickelt haben, variiert im Bereich von Millimetern bis wenigen Metern. Folglich haben sich die kognitiven und exekutiven Funktionen der Nervensysteme an Prozesse angepasst, die für Interaktionen von Objekten dieser Größenordnung charakteristisch sind. Es ist das die Welt, in der die Gesetze der klassischen Physik gelten – weshalb wir diese und nicht jene der Quantenmechanik zuerst entdeckten. Es ist die Welt der soliden Gegenstände, der kausalen Wechselwirkungen, der nicht relativierbaren Koordinaten von Raum und Zeit, und es ist die Welt, in der vorwiegend lineare Modelle hinreichen, um den Großteil der für unser Überleben wichtigen Prozesse zu verstehen. Wir beobachten zwar Vorgänge, die eine andere Dynamik aufweisen und unseren Vorstellungen von Kausalität und Linearität zu widersprechen scheinen, aber wir haben Schwierigkeiten, die Gesetzmäßigkeiten intuitiv zu erfassen, die diesen Prozessen zu Grunde liegen. Dies gilt z. B. für alle Prozesse mit hoch nicht-linearer Dynamik, und hierzu gehören u. a. die Resonanzphänomene, die zu unerwarteten Verstärkungen von Schwingungen führen, das Aufschaukeln von extremen Wetterlagen und die scheinbar völlig unvoraussagbaren Phasenübergänge in chaotischen Systeme-

men. Der Grund, warum wir Schwierigkeiten haben, uns die Gesetzmäßigkeiten vorzustellen, die solche Prozesse hervorbringen, der Grund, warum wir kein rechtes Gefühl für solche nicht-linearen Wechselwirkungen haben, ist vermutlich, dass uns die Ausbildung dieses Vorstellungsvermögens nicht viel weiter gebracht hätte. Modelle von Vorgängen und deren Gesetzmäßigkeiten zu erstellen, ist für Organismen nur dann von Vorteil, wenn sich aus diesen zutreffende Voraussagen ableiten lassen. Für die Entwicklungsdynamik hoch nicht-linearer Systeme ist diese Bedingung nicht erfüllt. Selbst bei Kenntnis der herrschenden Ausgangsbedingungen ist es meist unmöglich vorauszusagen, wie sich das System in Zukunft weiter entwickeln wird. Es bringt also kaum Vorteile, sich mit der Analyse der Interaktionsdynamik hoch nicht-linearer Systeme zu befassen, wenn es darum geht, Modelle von der Welt zu erstellen, von denen zutreffende Voraussagen abgeleitet werden können. Es gab also vermutlich keinen Selektionsdruck für die Ausbildung kognitiver Funktionen zur Erfassung nicht-linearer dynamischer Prozesse – und dies könnte der Grund dafür sein, warum es uns so schwer fällt, uns solche Prozesse vorzustellen. Den gleichen Grund könnte unser Unvermögen haben, die Vorgänge in der Quantenwelt intuitiv zu erfassen. Diese Prozesse spielen beim Entwurf von Überlebensstrategien keine Rolle. Wir haben vermutlich deshalb für deren Wahrnehmung keine Sinnessysteme entwickelt. Unsere Nervensysteme haben sich vielmehr darauf spezialisiert, einige der in unserer makroskopischen Lebenswelt relevanten Signale aufzunehmen und diese auf Gesetzmäßigkeiten hin zu untersuchen, die es erlauben, Voraussagen zu machen.

Diese Beschränkung unserer kognitiven Fähigkeiten könnte eine Erklärung dafür sein, warum unsere Intuition Vorstellungen über die Organisation unseres Gehirns entwickelt hat, die mit der naturwissenschaftlichen Beschreibung dieses Organs nicht übereinstimmen. Das menschliche Gehirn ist fraglos das komplexeste System in dem uns bekannten Universum, wobei komplex nicht einfach für kompliziert steht, sondern im Sinne der Komplexitätstheorie als terminus technicus spezifische Eigenschaften eines Systems benennt, das aus sehr vielen aktiven, miteinander auf besondere Weise interagierenden Einzel-elementen besteht. Solche Systeme zeichnen sich durch eine hoch nicht-lineare Dynamik aus und sind deshalb in der Lage, Qualitäten hervorzubringen, die aus den Eigenschaften der Komponenten nicht ableitbar sind. Sie können nahezu unendlich viele Zustände in hoch dimensionalen Räumen einnehmen und dabei neue, prinzipiell unvorhersehbare Muster ausbilden. Sie vermögen dies, weil sie in der Lage sind, sich selbst zu organisieren und ohne den koordinierenden Einfluss einer übergeordneten Instanz hochgeordnete, metastabile Zustände einzunehmen. Somit sind sie hinsichtlich ihrer Entwicklungstrajektorien grundsätzlich offen. Sie sind kreativ.

Warum aber hat die Natur Gehirne mit diesen Eigenschaften ausgestattet, wenn es doch vornehmlich um die Analyse linearer Prozesse geht. Die Antwort auf die Frage muss unvollständig bleiben, weil wir die Organisationsprinzi-

pien nur im Ansatz verstanden haben. Erkennbar ist jedoch bereits, dass die Versatilität komplexer, nicht-linearer Systeme genutzt werden kann, um Probleme der Informationsverarbeitung sehr viel eleganter zu bewältigen als dies mit linearen Operationen möglich wäre, selbst wenn es sich bei diesen Problemen um die Analyse vorwiegend linearer Prozesse handelt. Beispiele sind die Mustererkennung, die Bildung von Kategorien, die assoziative Verknüpfung sehr großer Mengen von Variablen, das Treffen von Entscheidungen und die kreative Anpassung an sich ständig ändernde Bedingungen. Der geniale Trick scheint darin zu bestehen, die niedrig dimensionalen Signale, die von den Sinnesorganen geliefert werden, in hochdimensionale Zustandsräume zu transponieren, dort zu verarbeiten und die Ergebnisse dann rückzutransformieren auf den niedrigdimensionalen Raum, in dem die Verhaltensreaktionen stattfinden. Offensichtlich haben wir aber keine Einsicht in die hochdimensionalen, nicht-linearen Prozesse, auf denen unsere kognitiven Leistungen beruhen, sondern nehmen nur die niedrig dimensionalen Ergebnisse wahr. Und da wir kein Sensorium für die in unserem Gehirn ablaufenden Vorgänge haben, stellen wir uns offenbar vor, es müssten in ihm die gleichen linearen Vorgänge ablaufen, die wir den beobachtbaren Phänomenen in der Welt draußen unterstellen. Und dies ist vermutlich der Grund, warum wir glauben, dass es in unserem Gehirn eine zentrale Instanz geben müsse, einen autonomen Beweger, der über die Richtung zukünftiger Entwicklungstrajektorien entscheidet. Lineare Systeme können sich nicht selbst organisieren, sie sind nicht kreativ. Ihre Dynamik bewegt sich in unveränderlichen Zirkeln und wenn in ihnen Neues entstehen soll, dann müssen strukturierende Einflüsse von außen auf sie einwirken. Anders als selbstorganisierende Systeme bedürfen sie eines Bewegers. Weil wir Linearität annehmen, uns und unser Gegenüber aber als kreativ und intentional erleben, kommt unsere Intuition zu dem falschen Schluss, in unserem Gehirn müsse es eine übergeordnete, lenkende Instanz geben, welche die vielfältigen verteilten Prozesse koordiniert, Impulse für Neues gibt und den neuronalen Prozessen vorgängig über deren zukünftige Ausrichtung entscheidet. Und da wir diese virtuelle Instanz nicht zu fassen vermögen, schreiben wir ihr all die immateriellen Attribute zu, die wir mit dem Begriff des „Selbst“ verbinden: Die Fähigkeit, initiativ zu sein, zu wollen, zu entscheiden und Neues zu erfinden.

Diese Begrenzung unseres Vorstellungsvermögens erklärt vielleicht, warum unsere Intuition über die Vorgänge in unserem Gehirn nicht mit dem übereinstimmt, was die Hirnforschung über diese in Erfahrung gebracht hat. Die Einsicht in diese Begrenzung mag uns auch Warnung sein, die aus unserer Intuition abgeleiteten Vorstellungen von uns und der uns umgebenden Welt nicht zur alleinigen Grundlage zu machen für unser Urteilen und Handeln. Dies gilt vor allem dann, wenn wir absichtlich oder gezwungenermaßen in die Dynamik komplexer Systeme der Außenwelt eingreifen. Hierzu zählen sämtliche Systeme unserer Lebenswelt, die aus einer Vielzahl miteinander wechselwirkender aktiver Komponenten bestehen, also soziale und politische

Systeme ebenso wie Wirtschaftssysteme und Biotopie. All diese Systeme weisen eine hoch nicht-lineare Dynamik auf: Sie organisieren sich selbst, erzeugen fortwährend neue Muster, sind hinsichtlich ihrer zukünftigen Entwicklung nicht festgelegt und warten deshalb mit Überraschungen auf, die nicht prognostizierbar sind.

Als Handelnde sind wir aktive Komponenten solcher Systeme und befördern durch unser Tun deren Dynamik und zukünftige Entwicklung. Und das konfrontiert uns mit einem doppelten Problem.

Auch unserem Handeln in komplexen lebensweltlichen Systemen scheinen wir vorwiegend lineare Modelle zu Grunde zu legen, weil uns die Intuition für deren nicht-lineares Verhalten fehlt. Wir neigen deshalb dazu, das Selbstorganisationsvermögen dieser Systeme zu unter- und deren Lenkbarkeit zu überschätzen. Wir gehen auch hier davon aus, dass die effektivste Strategie zur Stabilisierung und Steuerung dieser Systeme darin besteht, zentrale Instanzen zu etablieren, welche die vielen verteilten Prozesse regulieren und die Entwicklung des Gesamtsystems in die gewünschte Richtung lenken. Ein Blick auf die hierarchischen Strukturen in unseren Gesellschafts- und Wirtschaftssystemen genügt, um zu erkennen, dass wir diese Intuition auch umsetzen. Dabei stellt sich die Frage, ob unser Vertrauen in die Fähigkeiten dieser Instanzen immer gerechtfertigt ist und ob wir sie nicht gelegentlich überfordern, weil wir von ihnen mehr erwarten als sie selbst unter optimalen Bedingungen leisten können. Aus prinzipiellen Gründen sind die Entwicklungstrajektorien komplexer Systeme offen und schwer prognostizierbar und das selbst dann, wenn die Ausgangsbedingungen vollständig bekannt sind – was natürlich in unseren lebensweltlichen Systemen nie der Fall sein wird.

Aus den gleichen Gründen ist nur schwer vorhersehbar, wie sich steuernde Eingriffe auf das Verhalten solcher komplexer Systeme auswirken werden. Meist wird sich erst im Nachhinein und nach längerer Zeit erweisen, welche Konsequenzen eine dirigistische Maßnahme tatsächlich hatte. Und es wäre verfehlt, den Vorwurf des Irrtums zu erheben, wenn es anders kommt als intendiert, weil die Prämisse der Voraussagbarkeit von Konsequenzen nur sehr eingeschränkt gilt. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, jeweils genau zu prüfen, inwieweit die institutionalisierten Steuerungsmechanismen der Dynamik des zu steuernden Systems entsprechen. Handelt es sich um wenig komplexe Systeme mit vorwiegend linearer Dynamik, dann sind hierarchisch strukturierte, dirigistische Lenkungsstrukturen eine gute Option. Handelt es sich jedoch um hochkomplexe Systeme mit stark nicht-linearem Verhalten, dann ist es vermutlich opportuner, auf die Selbstorganisationskräfte und die Kreativität solcher Systeme zu vertrauen als der Illusion zu erliegen, man könne diese lenken. Eingriffe müssten sich dann darauf beschränken, die Interaktionsgeflechte und Informationsflüsse so zu gestalten, dass sich die selbstorganisierenden Mechanismen optimal entfalten können. Da wir, wie ausgeführt, geneigt sind, die Vorgänge in der Welt intuitiv in linearen

Modellen abzubilden, darf vermutet werden, dass wir mehr zu dirigistischen Maßnahmen tendieren als es erforderlich und zweckdienlich ist.

Dass sich unsere lebensweltlichen Systeme aber überhaupt soweit entwickeln konnten und dabei leidlich stabil blieben, sollte für sich genommen schon als gute Nachricht gewertet werden und uns ermutigen, der Robustheit dieser durch Selbstorganisation entstandenen Strukturen mehr Vertrauen entgegenzubringen. Kein noch so umsichtiger Planer wäre je fähig gewesen, komplexe Systeme, wie unser Gehirn oder unsere sozialen und wirtschaftlichen Gefüge ab initio zu entwerfen und so zu konzipieren, dass sie funktionieren und über längere Zeiträume stabil bleiben.