

The background of the cover is an abstract, textured composition. It features a mix of dark green, light green, and red tones. The texture appears to be a combination of fine, grainy patterns and larger, more irregular shapes, possibly resembling a microscopic view or a close-up of a natural surface. The overall effect is organic and somewhat chaotic, reflecting the book's theme of biology and emotion.

Gerald Hüther

# Biologie der Angst

Wie aus Streß Gefühle werden

13. Auflage

V&R

Gerald Hüther, Biologie der Angst

V&R



Gerald Hüther, Biologie der Angst

Gerald Hüther

# Biologie der Angst

---

Wie aus Streß Gefühle werden

13., unveränderte Auflage

Vandenhoeck & Ruprecht

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-525-01439-4

Weitere Ausgaben und Online-Angebote sind erhältlich unter: [www.v-r.de](http://www.v-r.de)

13., unveränderte Auflage 2016

Umschlagabbildung: Claude Monet (1873), *Mohnblumen bei Argenteuil*  
(Ausschnitt), Öl auf Leinwand, Musée d'Orsay, Paris

© 2016, 1997 Vandenhoeck & Ruprecht GmbH & Co. KG,  
Theaterstraße 13, D-37073 Göttingen/  
Vandenhoeck & Ruprecht LLC, Bristol, CT, U.S.A.  
[www.v-r.de](http://www.v-r.de)

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages.  
Printed in Germany.

Satz: Satzspiegel, Nörten-Hardenberg

Druck und Bindung: ⊕ Hubert & Co, Robert-Bosch-Breite 6, 37079 Göttingen

Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier.

## Inhalt

---

1. *Begegnung und Ausschau* 7
2. *Zugangswege* 11  
Weshalb wir immer nur das finden, was wir suchen,  
und sich immer nur diejenigen verstehen, die durch  
die gleiche Brille schauen  
*Das Problem des Leib-Seele-Dualismus und die unter-  
schiedlichen Perspektiven von psychologischen und neu-  
robiologischen Ansätzen*
3. *Entwicklungswege* 17  
Warum es die Streßreaktion gibt, wie sie entstan-  
den ist und wozu sie dient  
*Die biologischen Funktionen der Streßreaktion und die  
Evolution plastischer, anpassungsfähiger Gehirne*
4. *Sackgassen* 33  
Was in uns passiert, wenn wir nicht mehr weiter-  
wissen  
*Die neuronale und endokrine Streßreaktion und ihre Be-  
sonderheiten beim Menschen*
5. *Auswege* 47  
Wie wir Sackgassen des Denkens und Fühlens ver-  
lassen und wie wir gar nicht erst hineingeraten  
*Die Bedeutung von individueller Erfahrung und Kompe-  
tenz und der Einfluß psychosozialer Unterstützung*
6. *Gebahnte Wege* 57  
Wie holprige Wege unseres Denkens und Fühlens  
zu Straßen und Autobahnen werden  
*Die Auswirkungen psychischer Herausforderungen auf  
neuronale Verschaltungen: Bahnung und Spezialisierung*

7. <i>Neue Wege</i>	71
Was bei Sturmflut mit Straßen und Autobahnen passiert	
<i>Die Auswirkungen psychischer Belastungen auf neuronale Verschaltungen: Destabilisierung und Reorganisation</i>	
8. <i>Der intelligente Weg</i>	79
Weshalb unser Gehirn kein Computer ist, und was wir tun müssen, damit es keiner wird	
<i>Die Bedeutung der Wahrnehmungsfähigkeit für die Informationsverarbeitung in sich selbst optimierenden Systemen</i>	
9. <i>Spurensuche</i>	85
Weshalb jeder Mensch so ist, wie er ist, so denkt, wie er denkt, und so fühlt, wie er fühlt	
<i>Der Einfluß psychischer Herausforderungen und Belastungen auf die Hirnentwicklung</i>	
10. <i>Ausblick und Abschied</i>	109
<i>Die wichtigsten im Text gebrauchten Fachausdrücke</i>	117
<i>Literatur</i>	125

Ich fürchte mich so vor der Menschen Wort  
Sie sprechen alles so deutlich aus:  
und dieses heißt Hund und jenes heißt Haus  
und hier ist Beginn und das Ende dort.

Mich bangt auch ihr Sinn, ihr Spiel mit dem Spott  
sie wissen alles, was wird und war;  
kein Berg ist ihnen mehr wunderbar;  
Ihr Garten und Gut grenzt gerade an Gott.

Ich will immer warnen und wehren: Bleibt fern.  
Die Dinge singen hör ich so gern  
Ihr rührt sie an: sie sind starr und stumm.  
Ihr bringt mir alle die Dinge um.

*Rainer Maria Rilke*

## *Begegnung und Ausschau*

---

Dort, wo ich wohne, gibt es einen kleinen Hügel. Die Leute in der Gegend nennen ihn den Pferdeberg, aber Pferde weiden dort oben schon lange nicht mehr. Es führt ein einsamer grasbewachsener Weg hinauf. Nur selten verirrt sich ein Mensch hierher. Von der Anhöhe schaut man weit ins Land. Es ist durchzogen von einem Netz von Straßen und Wegen, auf denen Menschen wie Ameisen in ihren Autos, mit ihren Fahrrädern oder zu Fuß unterwegs sind. Von den umliegenden Dörfern eilen sie in die Stadt und dann wieder zurück in die Dörfer. Auf Straßen und Spazierwegen bewegen sie sich durch die Felder und Wälder.

Bleiben Sie ein bißchen mit mir hier oben. Manchmal gelingt es mir nämlich, an dieser Stelle die Zeit anzuhalten, und je besser dies gelingt, desto rascher vergeht die Zeit für die dort unten. Nur wer still steht, sieht, wie die anderen sich fortbewegen, sieht, wohin sie immer wieder gehen und welche Spuren sie dabei hinterlassen. Dort, mitten im Wald, hat eben ein Aus-

flugslokal eröffnet. Schauen Sie, wie der kleine Weg von der Stadt her immer breiter wird, wie alle Windungen begradigt werden. Jetzt ist er bereits eine Straße geworden, und da kommen auch schon die ersten Autos angefahren. Oder dort, neben der Stadt, wird eine Fabrik gebaut. Der holprige Feldweg wird plattgewalzt, schon ist er asphaltiert und vierspurig ausgebaut. Der Weg, für den man früher eine Stunde zu Fuß brauchte, ist jetzt in zehn Minuten zurückzulegen. Unten am Fluß stellt die Fähre ihren Dienst ein. Sie haben ein Stück flußauf eine Brücke gebaut. Das alte Fährhaus verwaist, die Zufahrt bleibt unbenutzt. Schon bricht der Asphalt auf. Die ersten Büsche beginnen zu wachsen, bald wird die Straße kaum noch zu finden sein.

Aber ich habe Sie nicht hierhergeführt, um Ihnen zu zeigen, wie ein Netzwerk von Straßen und Wegen in Abhängigkeit von der Nutzung ständig verändert und fortwährend an neue Erfordernisse und Gegebenheiten angepaßt wird. Was wir von hier oben beobachten können, ist ein Bild für etwas, das später einmal als der entscheidende Durchbruch der Neurobiologie auf dem Gebiet des Verständnisses von Hirnfunktion in diesem Jahrhundert bezeichnet werden wird. Es ist ein Prozeß, für den wir noch gar keinen eigenen Namen haben. Die Engländer und Amerikaner nennen ihn »experience-dependent plasticity of neuronal networks« und meinen damit die Festigung oder aber Verkümmern der Verbindungen zwischen den Nervenzellen in unserem Gehirn in Abhängigkeit von ihrer Benutzung.

Stellen Sie sich vor, was das heißt: Die Art und Weise der in unserem Gehirn angelegten Verschaltungen zwischen den Nervenzellen, die unser Denken, Fühlen und Handeln bestimmen, ist abhängig davon, wie wir diese Verschaltungen nutzen, was wir also mit unserem Gehirn machen, was wir immer wieder denken, was wir immer wieder empfinden, ob wir zum Beispiel Abend für Abend vor dem Fernseher sitzend verbringen

oder ob wir statt dessen Geige spielen, ob wir viel lesen oder ständig mit unserem Computer im Internet herum surfen. Für jede dieser Beschäftigungen benutzen wir sehr unterschiedliche Verbindungen zwischen den Nervenzellen in unserem Gehirn. Sie heißen auf Englisch »neuronal pathways«. Nervenwege? Wege des Denkens und Empfindens?

In unserem Gehirn gibt es eine Unmenge verschlungener Pfade. Viele davon werden im Lauf unseres Lebens und in Abhängigkeit davon, wie oft wir sie in unseren Gedanken beschreiten, zu leicht begehbaren Wegen, zu glatten Straßen oder gar zu breiten Autobahnen. Wem es wichtig geworden ist, sein Ziel möglichst schnell durch die Nutzung des existierenden Straßen- und Autobahnnetzes zu erreichen, der übersieht allzu leicht die verträumten Pfade, die sonnigen Feldwege und die beschaulichen Nebenstraßen, die ebenfalls dorthin führen. Sie wachsen so allmählich zu und sind irgendwann kaum noch begehrbar.

Wer lieber zeitlebens auf einsamen verschlungenen Pfaden herumspaziert, der wird früher oder später feststellen, daß er immer dann in Schwierigkeiten gerät, wenn es darauf ankommt, in seinem Denken möglichst schnell von hier nach dort zu gelangen und eine rasche, eindeutige Entscheidung zu treffen.

Wie es kommt, daß manche Menschen ihr Gehirn so benutzen, daß sie möglichst schnell vorankommen, und was in ihrem Leben darüber entscheidet, wohin sie wollen, davon handelt dieses Buch. Was uns also interessiert, ist mehr als das, was wir von unserem Hügel aus sehen können: Wir wollen wissen, warum an einer Stelle schmale Wege zu breiten Straßen und woanders ausgebaute Straßen zu schmalen Pfaden werden. Uns interessiert nicht so sehr die Tatsache, daß ein Netzwerk von Wegen in unserem Gehirn existiert und daß sich dieses Netzwerk neuronaler Kommunikation im Lauf unseres Lebens verändert. Wir wollen vielmehr

wissen, weshalb die Wege des Denkens und Empfindens eines Menschen zu einem bestimmten Zeitpunkt seiner Entwicklung so sind wie sie sind. Wir wollen herausfinden, unter welchen Umständen und aus welchen Gründen manche dieser Wege bevorzugt benutzt werden und deshalb immer leichter begehbar werden. Wir wollen auch verstehen, was passieren muß, damit eingefahrene Wege verlassen werden können. Da es in unserem Gehirn keine Verkehrsplaner gibt, die alle künftigen Entwicklungen in die Erstellung des Wegeplans einbeziehen, kann sich jeder Weg, den wir einschlagen und den wir ausbauen, irgendwann später im Leben als Sackgasse, als Irrweg erweisen. Die Frage, weshalb solche Fehlentwicklungen immer wieder auftreten, welche Folgen sie haben und wie sie überwunden werden können, wird sich also wie ein roter Faden durch all unsere Überlegungen winden.

Wir wollen das Wunderbare und Geheimnisvolle nicht entzaubern. Wir schauen nur einmal ganz vorsichtig hinein, voll Ehrfurcht und Bewunderung. Dann machen wir den Deckel wieder zu und tragen das Geheimnis in uns weiter – vielleicht auf all unseren künftigen Wegen.

Wenn nicht mehr Zahlen und Figuren  
Sind Schlüssel aller Kreaturen,  
Wenn die, so singen oder küssen,  
Mehr als die Tiefgelehrten wissen,  
Wenn sich die Welt ins freie Leben  
Und in die Welt wird zurückgegeben,  
Wenn dann sich wieder Licht und Schatten  
Zu echter Klarheit werden gatten  
Und man in Märchen und Gedichten  
Erkennt die wahren Weltgeschichten,  
Dann fliegt von einem geheimen Wort  
Das ganze verkehrte Wesen fort.

*Novalis*

## Zugangswege

---

Von unserem Hügel aus können wir nur beobachten, daß sich das vor uns ausgebreitete Netzwerk von Wegen und Straßen, ähnlich wie das Netzwerk von Nervenverbindungen in unserem Gehirn, verändert, wenn die Menschen beginnen, es auf andere Weise zu nutzen. Weshalb manche Menschen solche, andere jedoch jene Wege einschlagen, bleibt uns verborgen. Hier reicht die Hügelperspektive nicht mehr aus. Es scheint so, als müßten wir entweder höher hinaus, um uns einen noch größeren Überblick über das Geschehen zu verschaffen, oder hinunter, um die Einzelheiten besser erkennen zu können.

Seit altersher haben Menschen versucht, das nicht Faßbare entweder durch eine Vergrößerung der Entfernung von den konkreten Phänomenen vorstellbar, oder aber durch direktes Eindringen in die sichtbaren Formen begreifbar zu machen. Auch diejenigen, die wissen wollten, weshalb Menschen so fühlen, denken und handeln, wie sie es nun einmal tun, und weshalb sich ihr Fühlen, Denken und Handeln im Lauf der Zeit verändert, sind entweder weit zurückgetreten und haben

beschrieben, was aus solcher Entfernung sichtbar wurde, oder sie haben versucht, so tief wie möglich in das Gehirn hineinzuschauen und zu beschreiben, was dort normalerweise abläuft, und wie sich diese Abläufe ändern, wenn in irgendeiner Weise in das Geschehen eingegriffen wird. Da ein und dasselbe Ding entweder aus großer Entfernung oder aber aus großer Nähe betrachtet, sehr verschieden aussieht, ist es kein Wunder, daß im Lauf der Zeit verschiedene Worte und Begriffswelten entstanden sind, um entweder unser Denken und Fühlen zu beschreiben oder die neuroanatomischen, neurophysiologischen und neurochemischen Merkmale unseres Gehirns und seiner Funktionsweise zu erfassen. Es ist auch kein Wunder, daß Geisteswissenschaftler und Naturwissenschaftler einander immer weniger verstanden, und wie immer bei solchen Entwicklungen, Fronten gebildet und tiefe, scheinbar unüberbrückbare Gräben ausgehoben wurden.

Da solche Abgrenzungen auf Dauer wenig fruchtbar sind, finden sich irgendwann einzelne, später immer mehr, die darangehen, die entstandenen Gräben wieder aufzufüllen und die einstmals so deutlichen Fronten aufzuweichen. Auch das ist kein Wunder, wunderbar ist aber, daß sich diese Synthese zwischen philosophischen, psychologischen und neurobiologischen, also zwischen geisteswissenschaftlichen und naturwissenschaftlichen Ansätzen gerade jetzt, am Ende des 20. Jahrhunderts, vollzieht.

Noch immer sitzen die Vertreter der zu langen und der zu kurzen Perspektive in ihren Stellungen. Aber sie hören schon das Lied, das auf der anderen Seite gesungen wird, und sie beginnen zu verstehen, daß beide Lieder sich nur im Text unterscheiden. Ihre Melodie ist gleich.

Sind Sie noch mit mir auf dem Hügel? Wir haben gemeinsam geschaut. Wir wollen nun gemeinsam lauschen, ob wir die Melodie erkennen, die über uns und

unter uns gesungen wird. Vielleicht gelingt es uns, sie mitzusingen. Damit uns der unterschiedlich gesungene Text dabei nicht zu sehr stört, werden wir ihn im Druck etwas verkleinern.

Diese kleingedruckten Texte sollen eine Hilfe für diejenigen sein, die die Melodie besser erkennen, wenn sie auch den dazugehörigen Text hören oder mitlesen können.

Diese Texte sind oft schwerfällig und in einer Sprache geschrieben, die manchem gar nicht zu der Melodie zu passen scheint, die in diesem Buch gesungen wird. Wem es so geht, der mag sie einfach überhören. Einige werden die großgeschriebene Melodie schnell erkennen und auch den kleingeschriebenen Text ein Stück weit mitverfolgen wollen. Damit das möglichst vielen gelingt, sind die unverständlichsten Fachausdrücke in Klammern und am Ende (S. 117) erklärt. Am schwersten haben es freilich diejenigen, die nur das Kleingedruckte lesen, um herauszufinden, weshalb die Melodie, die sie selbst nicht mitsingen können oder wollen, falsch sein muß. Für sie sind dort, wo es erforderlich schien, in Klammern Verweise auf die wichtigsten Originalarbeiten eingefügt, in denen noch einmal in aller Ausführlichkeit nachgelesen werden kann, was im kleingedruckten Text gesagt wurde.

Weiterführende Darstellungen finden sich in folgenden Übersichtsarbeiten:

Hüther, G. (1996): The central adaptation syndrome: Psychosocial stress as a trigger for the adaptive modification of brain structure and brain function. *Progress in Neurobiology*, Vol. 48, Seite 569–612.

Hüther, G.; Doering, S.; Rüger, U.; Rütter, E. und Schüßler, G. (1996): Psychische Belastungen und neuronale Plastizität. *Zeitschrift für psychosomatische Medizin*, Band 42, Seite 107–127.

Rothenberger, A. und Hüther, G. (1997): Die Bedeutung von psychosozialen Stress im Kindesalter für die strukturelle und funktionelle Hirnreifung: Neurobiologische Grundlagen der Entwicklungspsychopathologie. *Praxis der Kinderpsychologie und Kinderpsychiatrie* (Heft 9, 1997, im Druck)

Hier also die erste kleingedruckte Erläuterung:

Seit der Antike wird das abendländische Denken von einem dualistischen Modell der Leib-Seele-Spaltung beherrscht. Lange Zeit standen die beiden Pole einander isoliert gegenüber, und bis heute ist es nicht gelungen, den »geheimnisvollen Sprung

vom Seelischen ins Körperliche« (Freud 1895) wissenschaftlich zur Gänze zu vollziehen. Es hat sich aber doch eine Entwicklung vollzogen von einem dualistischen zu einem integralen Denken (Schüßler 1988): Wir sehen Leib und Seele nicht mehr als voneinander getrennte, sondern als zwei sich gegenseitig beeinflussende und durchdringende Wesenheiten an, die eine »komplementäre Identität« (Kirsch und Hyland 1987) bilden. Diese gegenseitige Durchdringung wird in weiten Teilen der aktuellen neurobiologischen und psychologischen Forschung immer deutlicher. In diesem Bereich entstehen immer differenziertere Kenntnisse über die Beeinflußbarkeit biologischer Prozesse durch psychische Faktoren und über die Auswirkungen neurobiologischer Voraussetzungen und Gegebenheiten auf psychische Phänomene.

Nachdem noch bis vor wenigen Jahrzehnten die Überzeugung herrschte, daß ein Umbau der während der Hirnentwicklung einmal angelegten Verschaltungen im adulten Gehirn nicht mehr stattfindet, wissen wir heute, daß das Gehirn auch im Erwachsenenalter noch in hohem Maße zu struktureller Plastizität fähig ist. Zwar können sich Nervenzellen im Anschluß an die intrauterine Reifung des Gehirns schon vor der Geburt nicht mehr teilen, sie bleiben jedoch zeitlebens zur adaptiven Reorganisation ihrer neuronalen Verschaltungen befähigt (»experience dependent plasticity«). Im Zuge derartiger Umbauprozesse kommt es zur Veränderung der Effizienz bereits vorhandener Synapsen (Kontaktstellen), etwa durch Vergrößerung oder Verringerung der synaptischen Kontaktflächen, durch verstärkte oder verminderte Ausbildung prä- und postsynaptischer Spezialisierungen oder durch Veränderungen der Eigenschaften und der Dichte von Rezeptoren für Transmitter (Botenstoffe) und damit der Effizienz der Signalübertragung. Verstärktes Auswachsen und »kollateral sprouting« (Bildung zusätzlicher Seitenäste) von Axonen (Fortsatz der Nervenzelle zur Verbindung mit anderen Nervenzellen) kann zur Neubildung von Synapsen, terminale retrograde Degeneration (Rückbildung) zur verstärkten Elimination vorhandener Synapsen führen. Durch plastische Veränderungen des Dendritenbaumes (vielfach verästelte Zellfortsätze) oder durch Änderung der Abschirmung von Neuronen durch Astrozyten (Hüllzellen) kann das Angebot postsynaptischer Kontaktstellen erhöht oder vermindert werden. Unter normalen Bedingungen findet so im Gehirn eine ständige Stabilisierung, Auflösung und Umgestaltung synaptischer Verbindungen und neuronaler Verschaltungen statt.

Derartige Umbauprozesse können beispielsweise verstärkt nach

Deafferenzierungen (Nervendurchtrennungen) durch Extremitätenamputationen beobachtet werden. Es findet hier eine Reorganisation kortikaler somatosensorischer Projektionsfelder statt, das heißt, die vorher für die verlorene Extremität zuständigen Gehirnamareale übernehmen nach und nach neue, andersartige Funktionen (Ramachandran 1993; O'Leary u.a. 1994). Steroidhormone spielen eine besondere Rolle als Trigger (Auslöser) für strukturelle Umbauprozesse im adulten ZNS (Zentralnervensystem). Sie wirken als sogenannte Liganden-gesteuerte Transkriptionsfaktoren und nehmen so direkten Einfluß darauf, welche Gene einer Nervenzelle aktiviert und welche Funktionen von der Zelle infolgedessen ausgeführt werden. Ein beeindruckendes Beispiel für einen solchen Einfluß von Steroidhormonen ist die sich in Abhängigkeit vom Sexualzyklus weiblicher Ratten ändernde Dichte synaptischer Verbindungen in verschiedenen Hirngebieten (Olmos u.a. 1989; Wooley und McEwen 1992). Die intensivsten strukturellen Reorganisationsprozesse im adulten Gehirn wurden bisher beim Erwachen von Tieren aus dem Winterschlaf beobachtet. Im Zuge der hierbei stattfindenden massiven hormonellen Veränderungen kommt es innerhalb weniger Stunden zum Wiederauswachsen der während des Winterschlafes zurückgebildeten Dendritenbäume von Pyramidenzellen (Popov und Bocharavo 1992; Popov u.a. 1992).

Noch ist es sehr laut hier oben auf unserem Hügel. Das dumpfe Dröhnen der Autos und das Getöse der gelegentlich vorüberziehenden Flugzeuge klingt nicht wie ein Lied. Um die Melodie vernehmen zu können, müßte man dorthin zurückkehren, wo sie entstanden ist.

Man müßte weg in eine ferne Vergangenheit, in eine Zeit, als es weder Flugzeuge noch Autos gab, zurück in eine Zeit, als das denkende und empfindende Gehirn die ersten Schritte auf seinem langen Entwicklungsweg gegangen ist.



Ich lebe mein Leben in wachsenden Ringen,  
die sich über die Dinge ziehn.  
Ich werde den letzten vielleicht nicht vollbringen,  
aber versuchen will ich ihn.  
Ich kreise um Gott, um den uralten Turm,  
und ich kreise jahrtausendlang,  
und ich weiß noch nicht: bin ich ein Falke, ein Sturm  
oder ein großer Gesang.

*Rainer Maria Rilke*

## *Entwicklungswege*

---

Keine Sorge, unser Weg zu den Anfängen unseres Denkens und Fühlens führt uns nicht zurück bis zum Urschleim oder gar zum Urknall. Wir werfen nur einen kurzen Blick zurück auf die ersten lebendigen Wesen, die damals – ebenso wie wir heute – gezwungen waren, sich in ihrer Welt zurechtzufinden. Sie hatten es noch sehr leicht, denn sie hatten ein Programm, ein von ihren Vorfahren ererbtes Programm, das ihre körperliche Gestalt, ihren Stoffwechsel und natürlich auch ihr Verhalten diktiert hat.

Die genetischen Programme, die den Bau eines Lebewesens und seine Reaktionen auf Eßbares oder Feindliches bestimmten und dafür sorgten, daß entsprechend programmierte Nachkommen gezeugt wurden, blieben jedoch nie ganz gleich. Diese Programme neigten von Natur aus dazu, größer zu werden und mehr zu enthalten als eigentlich nötig war, und sie neigten dazu, sich immer wieder etwas zu verändern. Sie hatten also eine Eigenschaft, die wir an unseren Computerprogrammen nicht so sehr schätzen. Sie waren fehlerfreundlich. Und sie machten noch etwas, was Computerprogramme nicht machen sollen, sie vermischten sich ständig mit anderen, ähnlichen Programmen. Wir nennen das, was da stattgefunden hat

und – nicht ohne Grund – noch heute und selbst bei uns stattfindet, sexuelle Reproduktion. Beides zusammen, die Fehlerfreundlichkeit und die sexuelle Durchmischung im Zuge ihrer Reproduktion hat dazu geführt, daß immer wieder neue, leicht veränderte Programme entstanden sind, die den Bauplan und damit all das, was lebende Wesen konnten und machten, bestimmt haben. Deshalb gab und gibt es immer wieder Individuen, die etwas anders aussehen und die etwas anders sind als andere. Das ist natürliche Variabilität, und ohne die gäbe es keine Entwicklung.

Aber hier liegt auch die Wurzel für das Leid auf dieser Welt: Nicht alle Programme erwiesen sich als gleich gut geeignet, um die Entwicklung eines lebenden Wesens so zu steuern, daß es als erwachsenes Individuum auch überleben und sich fortpflanzen konnte. Hierfür gab es für die jeweiligen Bedingungen besser und schlechter geeignete Programme. Die Vorfahren aller heute lebenden Arten und aller heute lebenden Menschen hatten die besseren. Die Träger der anderen Programme sind gestorben, bevor sie sich fortpflanzen konnten. Ihre Programme wurden gelöscht und sind für immer verloren. Das ist Selektion und ohne die gäbe es auch keine Entwicklung.

Aber Variabilität und Selektion von genetischen Programmen sind das eine, die für das Überleben und die Weitergabe dieser Programme erforderlichen äußeren Bedingungen sind das andere. Die einen sind die Spieler, die anderen die Dirigenten. Die genetischen Programme sind Handlungsanweisungen, die den Aufbau, die Strukturierung und damit auch die physiologischen Leistungen und das Verhalten der Individuen einer Art mehr oder weniger genau bestimmen. Ob diese Programme erhalten blieben und an die Nachkommen weitergegeben werden konnten, hing jedoch immer von den jeweils herrschenden äußeren Bedingungen ab. Sie bestimmten, welche Programme am besten geeignet waren und welche der immer wieder aufgetretenen Programmänderungen einen Selektionsvorteil boten. Über lange Zeiträume der Evolution waren es ausschließlich Änderungen der äußeren Lebensbedingungen, die die Richtung vorgaben, in die sich die

genetischen Programme einzelner Arten fortzuentwickeln hatten. Die Situation änderte sich erst, als lebende Wesen auf dieser Erde begannen, die für ihr Überleben und für ihre Reproduktion erforderlichen Bedingungen in zunehmendem Maße selbst zu gestalten oder wenigstens zu beeinflussen, richtiger: als ihre Programme so weit entwickelt waren, daß sie ihre Träger eben dazu befähigten. Seit dieser Zeit hat der Begriff »Umwelt« eine doppelte Bedeutung: Neben der klassischen Außenwelt existiert eine zweite, noch viel bedeutsamere, eigene Welt, die durch die Wirkung genetischer Programme innerhalb dieser äußeren Welt erzeugt wird. Begonnen hat diese Entwicklung bereits sehr früh. Jede Eizelle enthält nicht nur ein genetisches Programm, sondern gleichzeitig auch all das, was für seine Umsetzung initial erforderlich ist (Bausteine, Kofaktoren, Energie etc.). Artsspezifische intrauterine Entwicklungsbedingungen, Brutpflege und andere Mechanismen tragen zur Abschirmung der Nachkommen vor äußeren Bedingungen bei, die den Ablauf der genetisch programmierten Entwicklung gefährden. Während der Evolution wirkte also ein innerer Selektionsdruck, der die Träger von genetischen Programmen begünstigte, die in der Lage waren, die eigenen Entwicklungsbedingungen aktiv und weitgehend unabhängig von den äußeren Bedingungen zu gestalten.

Natürliche Variabilität und Selektion bestimmten bereits die Entwicklung der Einzeller. Bald, das heißt in der Evolution nach unvorstellbaren Zeiträumen, entstanden Programme, die sich ihren Trägern als nützlich erwiesen, weil sie dazu führten, daß die Zellen zusammenklebten. Schon haben wir Vielzeller. Die saßen entweder fest und sind später einmal Pilze oder Pflanzen geworden, oder sie bewegten sich aktiv vorwärts. Letzteres schafften nur die, die ein Programm besaßen, das dazu führte, daß bestimmte Zellen das Kommando übernahmen und allen anderen Zellen auf der Oberfläche sagten, ob sie ihre Ruderinstrumente vorwärts oder rückwärts, nach rechts oder nach links bewegen sollten, hin zum Futter oder weg von unwirtlichen Verhältnissen und hungrigen Freßfeinden. Hierfür war ein Programm erforderlich, das dafür sorgte, daß besonders empfindliche Zellen, die ursprünglich auch auf der Oberfläche lagen, ein Stück eingesenkt

wurden. Sie durften nicht mehr auf alles reagieren und mußten Möglichkeiten bekommen, durch Fortsätze miteinander und mit den äußeren wie auch mit den inneren Zellen in Kontakt zu bleiben. Nur so konnten sie in ihrer Aktivität von außen, aber auch durch andere Zellen beeinflusbar bleiben und ihrerseits andere Zellen durch ihre Aktivität in bestimmter Weise beeinflussen. Schon haben wir die ersten Tiere vor uns, die ein bewährtes, brauchbares genetisches Programm für ein voll funktionstüchtiges Nervensystem von ihren Eltern übernommen hatten.

Nun geht es Schlag auf Schlag. Programme, die es ermöglichten, wichtige Sinneseindrücke (die meist von vorn kommen) zu verarbeiten, und auf andere Nervenzellen zu übertragen, bildeten die Grundlage für die Entwicklung einer Nervenzellansammlung im Kopfteil. So sind die ersten fest vernetzten Gehirne entstanden – irgendwo auf der Stufe der Würmer. Der Rest ist nur noch Spielerei. Für jede nur mögliche Art des Überlebens fand sich früher oder später ein modifiziertes Programm, das die Herausbildung der dazu erforderlichen neuronalen Verschaltungen steuerte. Wie schön das alles funktioniert hat, sieht man am Beispiel der riesigen Gruppe der Insekten. Hier haben die Gene gewissermaßen alles ausprobiert, was ein Überleben mit Hilfe eines genau programmierten, fest verdrahteten Nervensystems unter den unterschiedlichsten Lebensbedingungen ermöglichte. Die Strategie, mit Hilfe genetisch genau vorgeschriebener fester Verschaltungen im Gehirn in allen Lebenslagen zurechtzukommen, war auf dieser Entwicklungsstufe an den Grenzen ihrer Möglichkeiten angekommen. Hier war die Evolution, zumindest was die weitere Entwicklung des Nervensystems betraf, offensichtlich in eine Sackgasse geraten.

Parallel zum Programm der Insekten und aller anderen sogenannten Urmünder hatte sich jedoch bei den sogenannten Neumündern, zu denen wir gehören, be-

reits sehr früh ein Programm entwickelt, das die ganze Entwicklung des Organismus anders anfaßte, das der Ausbildung des Nervensystems zumindest potentiell und, wie wir gleich sehen werden, später auch wirklich mehr Spielraum ließ.

Von den Vorfahren der Wirbeltiere bis etwa zu den Sauriern und ihren heutigen Verwandten blieb das Gehirn allerdings noch immer relativ fest verdrahtet, ohne daß dies für die heute noch lebenden Eidechsen und Krokodile, die Nachfahren der Saurier, von großem Nachteil wäre. Die genetischen Programme, die die Verschaltungen in ihrem Gehirn lenkten, sind in einem langen Evolutionsprozeß genau für die Bedingungen optimiert worden, unter denen sie noch heute leben. Damit sie auch weiterhin überleben können, darf sich, wie bei den Insekten, an ihrer Lebenswelt, an den Bedingungen, die in ihren jeweiligen ökologischen Nischen herrschen, möglichst nichts ändern. Sie alle haben sich Lebensräume erschlossen, die bis heute weitgehend so geblieben sind, wie sie damals waren.

Aber Unveränderlichkeit der äußeren Verhältnisse war und ist die Ausnahme, nicht die Regel auf dieser Erde. Je stärker und je rascher sich diese äußeren Lebensbedingungen änderten, desto weniger waren die Träger von Programmen für die Herausbildung fester, im späteren Leben nicht mehr veränderbarer Verschaltungen zwischen den Nervenzellen ihres Gehirns in der Lage, hinreichend flexibel auf neuartige Herausforderungen ihrer Lebenswelt zu reagieren. Die meisten sind eben nicht deshalb ausgestorben, weil sie von anderen gefressen wurden, sondern, so wie die Saurier, einfach deshalb, weil es irgendwann zu kalt oder zu heiß, zu naß oder zu trocken wurde und sie daher nicht mehr genug zu fressen fanden und ihre Nachkommen nicht mehr hochbrachten. Sie hatten ein zu fest programmiertes Gehirn, um flexibel genug auf derartige Veränderungen reagieren zu können.

Jetzt kam eine großartige Erfindung zum Tragen, von der die Saurier noch nicht in dem Maße profitieren konnten, wie all diejenigen, aus denen später einmal die Säugetiere werden sollten: Mit den ersten Wirbeltieren waren Programme entstanden, die dazu führten, daß das Gehirn bei Gefahr bestimmte Signalstoffe produziert, die in das Blut abgegeben werden und die Produktion und Abgabe von Hormonen durch die Nebennieren anregen. Diese hormonelle Reaktion diente zunächst dem Zweck, die letzten Reserven des Körpers zu mobilisieren, damit er eine bedrohliche Situation übersteht. Es war eine Reaktion für den Notfall. Sie heißt *Stressreaktion* und hat schon unendlich vielen Lebewesen geholfen, kritische Phasen zu überstehen. Sie wurde bei jeder Gefährdung ausgelöst, also immer dann, wenn in der für das Überleben wichtigen Außenwelt lebensbedrohliche Veränderungen auftraten. Ein Feind oder ein Nahrungskonkurrent ließ sich durch die Aktivierung einer angeborenen Verschaltung und die dadurch ausgelöste Instinkthandlung vielleicht vertreiben. Falls das nicht gelang, konnten andere Nervenbahnen benutzt werden, um sich schleunigst aus dem Staub zu machen. Was passierte aber, wenn die im Gehirn angelegten Verschaltungen so beschaffen waren, daß es mit ihrer Hilfe einfach nicht möglich war, einer plötzlich auftretenden Veränderung der äußeren Lebenswelt mit einer entsprechenden Verhaltensreaktion zu begegnen, wenn neuartige Bedingungen entstanden, sich das Klima veränderte, die Ressourcen knapp wurden? Derartige Veränderungen der äußeren Lebensbedingungen verschwanden meist auch nicht so plötzlich, wie sie gekommen waren. Wenn es immer weniger zu fressen gab, wenn sich die klimatischen Bedingungen immer stärker veränderten, dann wurde aus der kurzen Notfallreaktion ein Dauerstress. Besonders bekamen das all diejenigen zu spüren, deren Verhalten am wenigsten geeignet war, mit den veränderten Bedingungen umzugehen. Wenn eine Not-

fallreaktion zur Dauerreaktion wird, brennen irgendwann irgendwo im Körper die Sicherungen durch. Das war damals ebenso wie heute: Dauerstreß führt zum Untergang, entweder zum Tod durch streßbedingte Erkrankungen (denn die Streßhormone unterdrücken auch die körpereigenen Abwehrkräfte) oder durch streßbedingte Unfruchtbarkeit (denn die Streßhormone unterdrücken auch die Produktion von Geschlechtshormonen).

Über unvorstellbar lange Zeiträume hinweg sind so immer wieder diejenigen Nachkommen einer Art an den Folgen von Dauerstreß zugrundegegangen, die kein Rezept fanden, um die in ihrem Gehirn ausgelöste und ihren ganzen Körper erfassende Streßreaktion kontrollierbar zu machen. Die Vorfahren einiger Arten hatten Glück und fanden eine Nische, in der sich die Lebensbedingungen über viele Generationen hinweg nicht mehr allzusehr veränderten. Ihre Nachkommen konnten, so wie die Riesenechsen auf den Galápagosinseln, bleiben, wie sie waren. Die Verschaltungen in ihrem Gehirn und die von ihnen gesteuerten Verhaltensweisen waren optimal zur Bewältigung der Probleme geeignet, die es über Generationen hinweg auf den Galápagosinseln für Riesenechsen gab.

Unseren Vorfahren ist es nicht gelungen, sich auf ein kleines, unveränderliches Eiland zurückzuziehen und so zu bleiben, wie sie waren. Sie zählen damit zu denjenigen, deren Überleben als Art von immer wieder auftretenden Änderungen im genetischen Programm ihrer Nachkommen abhing. Hin und wieder hat eine solche Änderung diesen Nachkommen geholfen, sich besser als alle anderen in der sich ständig verändernden Welt zurechtzufinden. Sie hatten deshalb weniger Streß, blieben länger gesund und konnten sich stärker vermehren als ihre Artgenossen mit den alten Programmen. Reichten solche, etwas erweiterten und flexibler gewordenen Verschaltungen in ihrem Gehirn

aus, um sich in einer immer komplexer werdenden, sich immer stärker verändernden Lebenswelt ohne Dauerstreß zurechtzufinden, war alles gut und die genetischen Programme, die diese Verschaltungen hervorbrachten, blieben wie sie waren. Reichte die Änderung nicht, bekamen die Träger dieser noch immer nicht hinreichend flexiblen Programme früher oder später die Konsequenzen ihrer unzureichenden Anpassungsfähigkeit als dauerhaft aktivierte Streßreaktion zu spüren. Auch sie hatten ab und zu Nachkommen, deren genetische Programme es möglich machten, noch komplexere und noch stärker durch die Art der Nutzung beeinflussbare Verschaltungen der Nervenzellen in ihren Gehirnen auszubilden. So ging es mit ganz kleinen, manchmal auch mit größeren Schritten weiter, aber niemals irgendwohin, sondern immer dorthin, wo wieder einmal zufällig Programme entstanden waren, die ihre Träger dazu befähigten, besser als alle anderen – also ohne Dauerstreß – auf immer vielschichtiger und unvorhersehbarere Änderungen ihrer Lebenswelt reagieren zu können. So entstanden immer lernfähigere Gehirne und damit immer anpassungsfähigere Verhaltensweisen. Der große Lenker, der immer wieder die Richtung dieser Entwicklung bestimmte, indem er all diejenigen auslöschte, die mit ihren zu starren Programmen diesem Weg nicht folgen konnten, war – die allen Wirbeltieren eigene neuroendokrine *Streßreaktion*.

Unser großes lernfähiges Gehirn ist also auf einem unvorstellbar langen Weg entstanden, der von der Angst und dem Leid all derer gezeichnet ist, die sich vergeblich bemüht haben, in einer sich ständig verändernden Welt zu überleben. Jeden kleinen Schritt, den unsere entfernten Ahnen auf diesem Weg vorangekommen sind, haben jene erst mit Dauerstreß und dann mit ihrem Leben bezahlt.

Das ist noch immer Darwins Ansatz, aber nicht mehr aus der Perspektive derer betrachtet, die sich gern als Darwinisten bezeichnen. Darwin hat sich in viel stärkerem Maß als seine späteren Interpreten gefragt, wie es möglich war, daß bestimmte Merkmale im Verlauf der Evolution wie von Geisterhand gesteuert, scheinbar zielstrebig in eine ganz bestimmte Richtung weiterentwickelt wurden. Er hat auch verstanden, daß im Verlauf der Evolution der höheren Tiere ein komplexes Verhaltensrepertoire immer wichtiger wurde und die weitere Ausformung anatomischer Merkmale zunehmend an Bedeutung verlor. Er hat bereits gesehen, daß diejenigen, die ein ungeeignetes Verhaltensprogramm besaßen, früher oder später aussterben mußten, wenn es ihnen oder ihren Nachkommen nicht gelang, ihr Verhalten an die veränderten Bedingungen anzupassen. Aber Darwin wußte noch nicht, daß die höheren Tiere einen Mechanismus in sich trugen, der den Trägern ungeeigneter Verhaltensprogramme Unfruchtbarkeit und Untergang bescherte. Er konnte nichts von einer neuroendokrinen Streßreaktion wissen, aber er ahnte, daß eine vermeintliche Bedrohung wie auch das vermeintliche Ende einer Gefahr bei Tieren ähnliche Empfindungen auslösen wie bei uns Menschen, daß auch Tiere offenbar die Angst kennen, mit der jede Streßreaktion beginnt, ebenso wie die Erleichterung, die auch wir empfinden, wenn sie aufhört. Diese sonderbaren Gefühle entstehen ja eben dadurch, daß stammesgeschichtlich sehr alte Verschaltungen in unserem Gehirn aktiviert werden. So wie alle Säugetiere Augen haben, mit denen sie sehen können, haben sie auch diese alten Schaltstellen, die, wenn sie erregt werden, eine Empfindung auslösen, die wir Angst nennen, und beim Aufhören dieser Erregung, beim Verschwinden der Angst ein Gefühl der Freude, der Erleichterung zurücklassen.

Ein großes lernfähiges Gehirn ist etwas Feines, aber es hat ein Problem, das wir bereits von unserem Hügel aus erkannt haben. Ist aus einem ehemaligen Feldweg erst einmal eine schöne breite Straße oder gar eine Autobahn geworden, auf der man schnell von hier nach dort kommt, fahren auch viele hier entlang, selbst dann, wenn sie gar nicht dorthin wollen, wohin sie führt.

Bis zu den Sauriern gab es nur festgefügte Verschaltungen im Gehirn, deren Abzweigungen, deren Dicke und deren Gabelungen durch ein arteigenes geneti-