

Anatomie der Angst – Neurophysiologie und Pathophysiologie des Limbischen Kortex

Juraj Artner, Juni 18, 2000

1. Geschichte der Angst

1.1. Was ist Angst

Angst ist wohl die älteste und bei weitem bedeutendste Reaktion jedes höheren Lebewesens. Sie tritt als unmittelbare Folge entweder einer gefährlichen Situation, oder der Vorstellung einer solchen Situation.

1.2. Angst und Evolution

Was ist aber der wahre Sinn der Angst? Es ist die Lebenserhaltung/ -Rettung, das Vorantreiben, Einleitung von vorbeugenden Massnahmen, konstantes Lernen, und Wachstum. Angst treibt voran. Sie treibt aber nur den voran, der mit ihr umgehen kann, dessen Reaktion auf sie er in die „richtigen Kanäle lenkt“¹ und nicht vor ihr erstarrt. Dem Lebenserhaltungstrieb haben wir es zu verdanken, dass wir nicht mehr als Wildlebende herumstolpern müssen, mit der Hoffnung, irgendein Tier zu finden, töten, und zu essen, dass die Spezies Mensch sesshaft geworden ist, angefangen hat zu säen, zu ernten, Vorsichtsmassnahmen gegen Umwelteinflüsse zu treffen, Häuser gebaut hat, sich zu Gemeinschaften und Städten zusammengeschlossen hat, usw... Vom Urmenschen bis zum heutigen zivilisierten Menschen hat nur die Angst, richtig dosiert natürlich, die Evolution des Menschen vorangetrieben. Stellen Sie sich mal vor, der Urmensch würde beim Anblick eines Löwen vor Angst völlig erstarren, anstatt sich ein Versteck zu suchen, eine spitze Waffe zu

entwickeln, und es erst dann mit ihm aufnehmen. Tja, lieber Leser, möglicherweise wäre dann die gesamte Evolution anders verlaufen.

2. Physiologie der Angst

2.1. Emotion und der Limbische Kortex

Das Menschliche Gehirn kann grob in zwei Schichten eingeteilt werden: Substantia alba und Substantia grisea, also weisse und graue Substanz. Die Substantia alba besteht aus Verbindungsfasern, die die langen Schaltkreise des Zentralnervensystems darstellen. Die Substantia grisea besteht aus Ansammlungen von Neuronen in den Zellen des Nervensystems. Sie umspannt, als die äusserere Gehirnrinde das gesamte Grosshirn, und Ihre Impulse lassen sich mit Hilfe von Evokationstests sogar ueber der Kopfhaut ableiten. Diese Grosshirnrinde wird auch als Kortex bezeichnet. Den Kortex teilt man in ein Neokortex und ein Pallaeo- oder Archikortex, nach entwicklungsgeschichtlichen Gesichtspunkten, ein. Die Grosshirnrinde ist zum Neokortex zu rechnen.

Tief unter dieser Schicht und einer Schicht aus weisser Fasersubstanz befindet sich noch ein Kortex, der Pallaeokortex, der wohl älteste Teil des Menschlichen Gehirns. So wie der Neokortex in Lobuli eingeteilt wird, also Lappen, wird auch der Pallaeokortex als der Limbische Lappen bezeichnet. Zum Limbischen Lappen gehörende Strukturen sind:

- Corpus Amygdaloideum (Mandelkern)
- Hippocampusformation
- Gyrus Parahippocampalis
- Fornix
- Corpora mammillaria des Hypothalamus
- Thalamus
- Hypothalamus
- Gyrus cinguli

¹ “in die richtigen Kanäle lenken” knuepft an den FREUDschen Terminus der Sublimierung an, obwohl er in seinen Werken eher den Sexualtrieb, ich jedoch in diesem Fall den Lebenserhaltungstrieb meine.

Die Erforschung des Limbischen Lappens hat in den späten 30er Jahren begonnen, als Forscher bemerkten, dass Tiere mit einer Läsion in diesem Bereich, modifizierte Verhaltensmuster zeigten (siehe nächstes Kapitel). Die Bedeutung, welche der limbische Kortex für das Empfinden der Angst hat, zeigte z.B. die Beobachtung, dass Ratten, die eine Läsion im Bereich der Amygdala (Mandelkerne) hatten, plötzlich keine Angstreaktionen im Kontakt mit Katzen zeigten, mit diesen sogar spielten und kuschelten. (Brain Briefings, Society of Neuroscience, 1998 Washington)

2.2. Geschichtlicher Hintergrund

Ich möchte hier kurz auf die historischen Details eingehen, da sie für das Verständnis der Entwicklung der Theorien eine große Hilfe sind.

Der erste Durchbruch in der Gehirnforschung war die Anerkennung des Cortex als Sitz der geistigen Leistungen am Ende des 18. Jahrhunderts. Ein Jahrhundert danach versuchte der englische Neurologe James Hughlings Jackson eine neurale Hierarchie zu skizzieren, in welcher der Cortex die höchste Instanz und das Rückenmark das nachgeschaltete Ausführungsorgan ist. Den Kortex unterteilte er wiederum hierarchisch: Die stammesgeschichtlich am spätesten entwickelten Teile übernahmen nach seiner Auffassung die Kontrolle über die älteren, tiefergelegenen (subkortikalen) Strukturen. Seiner Meinung nach beruhten auch die psychischen Erkrankungen auf einer gewissen Autonomie der niedrigen subkortikalen Strukturen. Die erste anatomische Erwähnung solcher Strukturen findet man bei dem französischen Neurologen Paul Broca im Jahre 1878. Er bezeichnet diese Strukturen als den limbischen Lappen. Auf die Erkenntnis, dass diese Strukturen den Sitz der Emotionen darstellen, musste man jedoch noch ein halbes Jahrhundert lang warten (Papez 1937).

Im Jahr 1885 postulierte James Lange die bewusste Wahrnehmung der Veränderungen des Organismus (Atemfrequenz, Skelettmuskelspannung, Gefäßkontraktionsgrad, Organfunktionen, Blutdruck, ...) als Ursache der Emotionen. Diese Theorie wird im Jahr 1927 von Cannon und Bard widerlegt. Sie gehen davon aus, dass fast alle sensorischen Signale im Thalamus umgeschaltet und mit einem emotionalen Touch beladen werden (Thalamustheorie). Zehn Jahre später postulierte

der amerikanische Neurologe James Papez zum ersten Mal Teile des limbischen Lappens als Sitz der Emotionen. Diese Teile werden in der heutigen Anatomie als sog. Papezscher Schaltkreis bezeichnet und beinhalten diese Strukturen in ihrer Schaltungsfolge: Hippokampus, Fornix, Corpora Mamillaria, Tractus mamillare thalamicus, Nucleus Thalamicus anterior, Gyrus Cinguli, Gyrus Parahippocampalis, Hippokampus².

Auf dieses Postulat folgt, wie bereits erwähnt, eine Epoche radikalster Tierversuche: 1939 Klüver-Bucy-Syndrom (Hippokampusentfernung induzierte bei Affen Enthemmung, Angstlosigkeit, Hypersexualität, visuelle Erkennungsstörungen, orale Fixierung), 1944 Weatley-Versuche (Katzen mit Hypothalamusläsionen zeigten extrem aggressive Verhaltensweisen), 1953 Kling-Schreiner-Versuche (Entfernung der Mandelkerne bei Katzen induzierte gleiche Symptome wie bei Klüver-Bucy-Affen), 1954 Rosfold, Mirsky und Pribram-Versuche (Amygdalaektomie an Affen induzierte Störung des sozialen Verhaltens).

Im Jahr 1955 entdeckten Terzian und Dalle Ore zum ersten Mal das Klüver-Bucy-Syndrom an einem Menschen. Es handelte sich um einen männlichen Patienten, bei dem aus therapeutischen Gründen eine Temporallappenentfernung vorgenommen wurde. Er zeigte alle Symptome, bis auf die orale Fixierung.³

1964 stellten Schachter und Singer die Arousal-Bewertungstheorie auf. Arousal ist dabei eine unspezifische Erregung der Physis, auf die Psyche mit Interpretationen und Bewertungen zu reagieren versucht. Diese Theorie hat als Grundlage die Tatsache, dass der Mensch ein Bedürfnis hat, seinen gegenwärtigen physiologischen Zustand zu erklären, dies jedoch unbewusst abläuft. Es folgte eine Epoche, in der Wissenschaftler versuchten, auf physiologische Messwerte das entsprechende emotionale Äquivalent zu finden: Es wurden das EKG, EEG, Adrenalin-Konzentration im Blut, Körpertemperatur, Atemfrequenz gemessen.

² Zum limbischen System gehört noch folgende Struktur: Amygdala (Mandelkerne)

³ Die vollständige Symptomgruppe des Klüver-Bucy-Syndroms wurde zum ersten Mal im Jahr 1975 von Marlow an einem männlichen Patienten beschrieben.

Doch alle Versuche zeigten, dass es auf dieser Ebene keine emotionale Spezifität gibt: Im Jahr 1967 induzierte Levi an Versuchspersonen verschiedene Emotionen (Angst und Ärger), zu denen er aber in den anschließenden Urinmessungen der Katecholaminwerte keinen spezifischen Unterschied fand.

2.3. Zur Anatomie des Limbischen Kortex (siehe Bild)

Wie bereits erwähnt, besteht dieser aus mehreren Strukturen, auf die wir hier kurz zum allgemeinen Verständnis der Materie eingehen wollen:

Die zwei, lateral in der Formation des Limbischen Systems liegenden Mandelkerne (Amygdala) [Bild: Nr.5], erhalten über Verbindungsfasern verschiedene Afferenzen. Zu den wichtigsten zählt die Verbindung zum olfaktorischen Sinneskanal [Bild: Nr.11] (Bedeutung des Riechsinn, eines der ältesten Sinne, für die Emotion) und die Verbindung zum Hippocampus [Bild: Nr.4], der für die Speicherung der Informationen, somit für das Langzeitgedächtnis eine besondere Rolle spielt. Diese Hippocampus – Amygdala – Verbindung ist auch für das Verständnis der emotionsbeladenen Konditionierung (durch nachträgliche Belohnung) in den B.F. Skinner-Versuchen von Bedeutung.

Die Hippocampusformation [Bild: Nr.4] hat einerseits über die Crura Fornicis und Fornix [Bild: Nr.6] Verbindung zum Hypothalamus [Bild: Nr.7], andererseits über den Gyrus Cinguli [Bild: Nr.3] eine Afferenz vom Thalamus [Bild: Nr.2]. Der Thalamus, die wichtigste Umschaltstation für Signale, projiziert nun auf Strukturen des Neokortex und erhält sowohl von diesen, als auch von Sensoren im ganzen Körper ein Feedback.

Wir wollen uns nun die Verbindung dieser Strukturen mit den somatischen Ereignissen einer Angstreaktion, anhand eines kurzen Beispiels, herstellen:

2.4. Der Limbische Kortex und psychosomatische Auswirkungen

Nehmen wir einmal an, sie wohnen in der Nähe der Natur. Sie kommen spät Abends nach Hause, wollen ihre Tür aufmachen, da hören sie ein leises Knistern hinter ihnen. Es ist ein

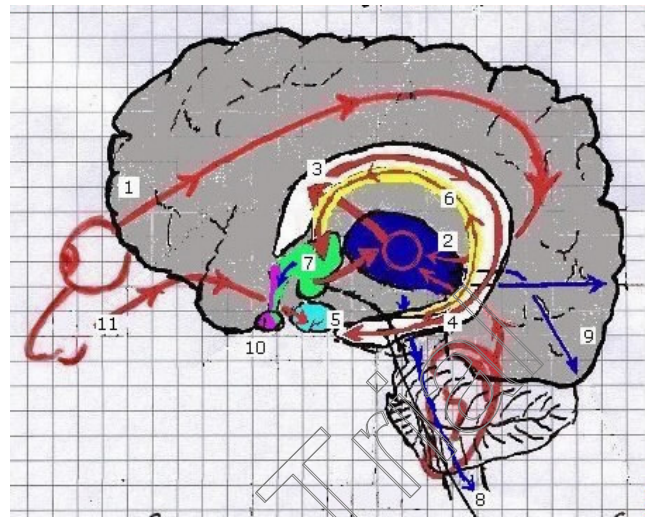


Abb.1.: Der Limbische Cortex (Skizze)

langer, dünner, schlangenförmig gebogener Ast, der sich auf dem Boden befindet. Sie wissen zuerst nicht, dass es sich um ein Ast handelt, und drehen sich um. Sie sind bereits angespannt. Ihre Augen werfen einen, anfangs defokussierten Blick in die Richtung des Geräusches. Sie erblicken den Ast, sind sich jedoch noch nicht bewusst, dass es sich um einen Ast handelt: Von der Retina ihres Auges geht das Signal über den Nervus Opticus, und wird über Fasern in die Corpora Geniculata des Thalamus [Bild: Nr.2] gesendet. Thalamus, der die wichtigste Umschaltstation des Gehirns ist, sendet nun die Signale in verschiedene Richtungen, so zum Beispiel auf den visuellen Kortex [Bild: Nr.9], wo das Signal bewusst wahrgenommen wird, es sendet aber auch auf den Gyrus Cinguli [Bild: Nr.3], von wo das Signal, über den sog. Papezischen Schaltkreis das gesamte limbische System durchläuft - Gyrus Cinguli - Hippocampusformation [Bild: Nr.4] (fürs Gedächtnis zuständig) - von da entweder Mandelkern (Emotionales Erleben der Situation) [Bild: Nr.5] - oder über Fornix [Bild: Nr.6] - Corpora mammalia des Hypothalamus (für somatische Stressreaktion zuständig) [Bild: Nr.7] - Hypophyse (Freisetzung der Stresshormone) [Bild: Nr.10]. Sie sehen also, dass jede Form von Wahrnehmung, im Thalamus umgeschaltet wird⁴, und von dort sowohl

⁴ Eine Ausnahme stellt der Riechsinn dar. Dieser ist bereit vor dem Thalamus mit den Mandelkernen in Verbindung.

bewusste Wahrnehmung, als auch somatische und emotionale Effekte (Limbischer Lappen) ansteuert. In den meisten Fällen geht der bewussten Wahrnehmung die emotionale und somatische sogar voraus. Um das im vorigen Beispiel zu veranschaulichen: Sie erblicken nicht den Ast, sie erblicken etwas, was einem Ast ähnlich sieht, sie erblicken aber auch etwas, was einer Schlange ähnlich sieht. Es ist ihnen noch gar nicht bewusst, was es ist, da das Signal noch nicht im optischen Kortex angelangt ist. Ueber den Limbischen Lappen hat es aber bereits eine Reaktion ausgelöst. Sie erschrecken oder weichen zurück und erst im nächsten Augenblick wird Ihnen bewusst, dass es nur ein Ast ist, der aber einer Schlange verdammt ähnlich sieht. Was war geschehen? Wie schon erwähnt ist das Signal, wie die meisten anderen, im Thalamus angekommen, sich dort aufgespalten und zunächst ihren Limbischen Lappen aufgesucht. Ueber den Papezischen Schaltkreis [siehe Bild] gelang also ein Teil zur Hippocampusformation und zum Mandelkern, wo dem Signal gewisse Erfahrungen, Vorstellungen und emotionale Aspekte beigegeben wurden. Nun gelang das Signal teils über den Hypothalamus zur Hypophyse, einem Drüsenorgan, welches die verschiedensten Hormone freisetzt, teils zum präfrontalen Cortex, der für die Handlungsplanung zuständig ist, und teils in die Medulla oblongata [Bild: Nr.8]. Es kommt in der Hypophyse zur Ausschüttung des Adrenokortikotropen Hormons – ACTH, welches die Aufgabe hat, ihren Organismus über Cortison in Stresslage zu versetzen, und zur Ausschüttung der Endorphine, welche die Belastbarkeit des Organismus dadurch erhöhen, dass sie die Schmerzempfindlichkeitsschwelle modifizieren und so eine Kampf- Flucht-Reaktion ermöglichen. Cortison begünstigt diese Reaktion zusammen mit Adrenalin durch Mobilisierung der Energiedepots (Fette, Glukose) in der Körperperipherie. Die Weiterleitung des Signals in die Medulla oblongata [Bild: Nr.8] bewirkt eine Blutdruckerhöhung und Herztachykardie durch das sympathische Nervensystem (über das Vasomotorenzentrum), weiter eine allgemeine Steigerung des zerebralen Erregungs- und Aufmerksamkeitszustandes (über die Formatio Reticularis {ARAS}), und eine Erhöhung der Atemfrequenz (Erregung des Atemzentrums), welche die, für die Energie-substratverbrennung notwendige Sauerstoff-versorgung des Organismus garantiert.

Der physiologische Sinn dieser Reaktion ist leicht zu erraten: Im Körper werden dadurch Reserven mobilisiert, deren Transport durch den erhöhten Blutdruck verbessert und deren Utilization durch die erhöhte Atemfrequenz erleichtert.

3. Pathophysiologie der Angst

3.1. Eustress vs. Distress

Der durch diese Reaktion hervorgerufene Angstanfall oder Stress kann in unserer Beispielsituation ihr Leben retten. Es ist jedoch so, dass man im Laufe des Tages hunderte solche emotionale Attacken hat, die aber keinesfalls positive Auswirkungen auf ihr Leben haben müssen. Die Angst in solchen Situationen kann in eine Panikattacke, oder in einen Zustand der totalen Gleichgültigkeit, begleitet vom Gefühl, einer Situation völlig ausgeliefert zu sein, münden. In der medizinischen Psychologie wird deswegen zwischen Eustress (guter Stress) und Distress (schlechter Stress) unterschieden. Der Begriff Stress stammt aus der Materialforschung und bedeutet soviel wie, die Gesamtheit aller auf einen Körper wirkenden Kräfte, die an ihm eine gewisse Reaktion hervorrufen. Der positive Stress wird am besten beim Sport aktiviert, oder in ähnlichen Situationen, in denen es um Herausforderung, Hingabe und Teamgeist geht. Dieser Teamgeist, somit auch das NICHT ALLEINE IN DIESER SITUATION ZU SEIN ist eines der Hauptkriterien für Eustress. Im Gegensatz dazu, ist Distress ein permanenter, oder häufiger Zustand der Angst und Anspannung, verbunden mit dem Gefühl des Alleinseins in einer Situation. Zu den typischen psychosomatischen Anzeichen dieser Stressform gehört Tachykardie (zu schneller Puls), Hypertonie (zu hoher Blutdruck), Diarrhoe (Durchfälle), Erschöpfungszustände und Persönlichkeitsveränderungen.

Betrachten wir nun zum Abschluss ein paar Beispiele für die (patho)physiologischen Folgen der Angst- und Spannungszustände:

3.2. Somatische Auswirkungen

*Beginnen wir bei der Atmungssteigerung:

Die Hyperventilation kann innerhalb von Minuten zu einem Bewusstseinsverlust führen. Dies wird vor allem bei aufgeregten Kleinkindern, manchmal auch bei Erwachsenen

beobachtet. Die Ursache hierfür ist die Veränderung des Säuren- Basen- Haushaltes des Körpers im Sinne einer induzierten respiratorischen Alkalose:

Durch die Hyperventilation kommt es zur verstärkten Ausatmung von CO₂, welches im Organismus als saure Valenz fungiert, und dadurch zur Alkalose. Eine weitere Komponente ist, dass die nun unbeladenen Puffersysteme anstelle des fehlenden CO₂ Ca- Ionen binden und somit dem Blut relativ entziehen. Beide Komponenten ziehen eine Funktionsstörung des Zentralnervensystems nach sich.

*Eine weitere, ebenfalls akute Folge der Angst- oder Stressreaktionen wäre eine Herzarrhythmie bzw. ein Herzinfarkt, bedingt durch die adrenerge Überstimulation und Tachykardie mit konsekutiver Gefäßkontraktion (Verminderung der Substratzufuhr) und Leistungssteigerung des Herzens (Vergrößerung des Energiebedarfs).

*Weitere, jedoch nicht akut einsetzende Folge der adrenergen Gefäßkontraktion, in diesem Fall im Darmbereich, sind die Magengeschwüre (Ulcera). Diese sind das Resultat der Minderdurchblutung und der hormonellen Dysbalance.

*Das Überangebot an energiereichen Substraten führt zusammen mit Blutdrucksteigerung zur Ausbildung einer Arteriosklerose: Durch den erhöhten Blutdruck kommt es im Gefäßlumen zu größeren Reibungskräften, die eine Verletzung des Gefäßes zur Folge haben. Zusätzlich kommt es zur Einlagerung der im Überfluss vorhandenen energiereichen Substrate in die Gefäßwand.

*Das Überangebot an Glukose prädisponiert zusätzlich zur Entwicklung eines Diabetes Mellitus: Die Hyperglykämie stimuliert nämlich die Insulinsekretion des Pankreas. Die peripheren Zellen reagieren jedoch auf die Hyperinsulinämie mit einer Verminderung der Insulinrezeptoren auf ihren Membranen. Das Resultat ist eine Insulinresistenz.

*Zuletzt möchte ich noch die Menstruations-, eventl. Fertilitätsprobleme erwähnen, deren Ursache teilweise in der Ausschüttung des Prolaktin- Hormons liegt: Nach der Stimulation des Hypothalamus kommt es zur hypophysären Ausschüttung von ACTH, der Endorphine, und des Prolaktins. Dieses, für die Funktion der weiblichen Brustdrüse verantwortliche Hormon, bewirkt aber, rückkoppelnd auf den Hypothalamus, eine Repression des Gonadotropins, welches wiederum für die Funktion der Sexualorgane verantwortlich ist. Sein Fehlen äußert sich bei der Frau in Menstruationsproblemen (Oligomenorrhoe, Amenorrhoe),

bei dem Mann in einer Störung der Spermatogenese. Für beide Geschlechter kann daraus eine Infertilität resultieren.

Weiterführende Literatur:

Benninghoff, Goertler (1993/94). Makroskopische und Mikroskopische Anatomie des Menschen. Band 2, 15. Aufl., Urban & Schwarzenberg Verlag

Williams (1995). Gray's Anatomy of the Human Body. 38th Ed., Churchill Livingstone, London

Firbas, Gruber, Mayr (1995). Neuroanatomie. 2. Aufl., W. Maudrich Verlag

Schmidt, Thews (1997). Physiologie des Menschen. 27. Aufl., Springer Verlag

Klinke, Silbernagl (1996). Lehrbuch der Physiologie. 2. Aufl., G. Thieme Verlag

Krueck (1994). Pathophysiologie/ Pathobiochemie. 2. Aufl., Urban & Schwarzenberg Verlag

Sonneck, Frischenschlager, Hexel, Kropiunigg, Pucher (1998). Medizinische Psychologie. 5. Aufl., Facultas Verlag