

# Das Limbische System

Paul Natterer

2002/2008/2018

Im Gehirn, dem zusammen mit dem Rückenmark Zentralen Nervensystem (ZNS), werden (1) **sensorische**, (2) **motorische**, (3) **motivational-emotionale** (limbische) **Zentren** unterschieden.

Die hintere Hälfte des Großhirns analysiert und synthetisiert den sensorischen Dateneingang (sensorischer Kortex), die vordere Hälfte (motorischer Kortex) ist zuständig für Handlungsantrieb, Verhaltenssteuerung, Bewegungskontrolle. Der limbische Bereich umgibt das Zwischenhirn und liegt wie ein Saum an und unter der Großhirnrinde (Kortex), wobei die tertiären limbischen Areale (siehe in Folge) ebenfalls im Kortex liegen.

Jedes dieser drei Zentren ist noch einmal untergliedert in **primäre** — **sekundäre** — **tertiäre** Areale. Sowohl der motorische wie die sensorischen (visuellen — sensomotorischen — auditiven) als auch die affektiven (sogenannten limbischen) Areale sind somit gegliedert in (1) primäre, (2) sekundäre oder übergeordnete und (3) tertiäre oder assoziative Zentren (Assoziations- und Integrationsregionen) im Scheitel- und Schläfenbereich des Gehirns.

Diese Zentren weisen auf allen drei Stufen eine nochmalige Binnengliederung auf in teils untergeordnete, teils koordinierte teils wechselwirkende Areale.

Allerdings ist auch die tertiäre Ebene anatomisch wie physiologisch hauptsächlich in den jeweiligen unimodalen Modulen lokalisiert und wird dort abgearbeitet bzw. gespeichert: Die eigentlichen Prozesskerne für die polymodale und supramodale Assoziation und Synchronisierung scheinen gerade die hier thematischen Gehirnerkerne des limbischen Systems (v.a der Hippokampus, s.u.) und des Zwischenhirns (v.a. der Thalamus) zu sein. Der Thalamus ist das Tor zum Kortex und steuert mit anderen Instanzen (Aufsteigendes Retikuläres Aktivierungssystem (ARAS) — Basalganglien des limbischen Systems — präfrontaler motorischer Kortex) sensorische und motorische Aufmerksamkeit und damit das intentionale, aktive Bewusstsein. Die sekundären und tertiären Areale des Kortex fungieren dabei weitgehend als Kurzzeitgedächtnis oder Arbeitsspeicher i.e.S. des neuronalen Prozessors und als Langzeitgedächtnis oder -speicher. Der Arbeitsspeicher i.w.S. ist dagegen ein Synonym für den bewussten Prozessor selbst, auch SAS (*Supervisory Attentional/Activating System*) genannt. Der Arbeitsspeicher als bewusster Prozessor operiert auf den beiden bekannten Repräsentationsebenen: analoge **räumlich-visuelle Kodierung** (*visuo-spatial sketch pad*) und **begrifflich-sprachliche Kodierung** (*articulatory loop*).

In Folge nun ein Überblick zum limbischen System im Einzelnen. Sie zeigen die funktionelle Heterogenität oder anders ausgedrückt: vielfältige Leistungsbreite dieses Systems:

- Unter dem Begriff des **Limbischen Systems** werden die Motivationsareale v.a. des Vorderhirns zusammengefasst. Es handelt sich um biologisch elementare Gehirnstrukturen für **Triebe, Motivationen** und **Emotionen**. Limbisch heißt das System, weil es wie erwähnt anatomisch als ein Saum (= lat.: *limbus*) dem Kortex anliegt und anatomisch wie v.a. physiologisch Teile und Funktionen desselben mit umfasst. Die Motivationsareale erhalten Informationen von allen Sensoren oder Arten von Sinnen: Sehen, Hören, Fühlen und auch besonders Riechen. Dabei geht es stets um die emotionale Bewertung eines Gegenstandes, m.a.W. um die Frage: Wozu ist er gut? Diese Interpretation und Bewertung erfolgt beim Menschen in den unteren Bereichen der Schläfenlappen, die zum tertiären limbischen Kortex zählen, und zwar in dreifacher Hinsicht: **visuell-emotional**, **räumlich-emotional** („Vertrautheit“) und **visuell-sozial**.
- Ebenso wichtig ist das limbische System zweitens für die vorbewusste und bewusste sensorische Informationsverarbeitung. Insbesondere für die **dynamische Assoziation der Sinnesdaten**, Musterabgleich und Bewertung, Lernen, Speicherung, Gedächtniskonsolidierung. Zu diesen sensorischen und kognitiven Synthesleistungen des kognitiven Subjektes zählen im Einzelnen die intermodale und supramodale **sensorische Konvergenz** (*binding*); die **topologische Konvergenz** und **zeitliche Synchronisation** der Daten; die durch multidimensionale Interaktion zu leistende **Wahrnehmungskonstanz**; die **zeitliche** (*chunks*) und **räumliche** (*patterns*) **Enkodierung** auf drei Verarbeitungstiefen: Gestalt (Bild) — Struktur (Schema) — Bedeutung (Begriff).
- Und ein dritter wichtiger Funktionskreis umfasst — zusammen mit dem motorischen Kortex und dem Kleinhirn — Leistungen der **Verhaltenssteuerung**: Zielbestimmung, Entscheidung, Planung, Ausführung, allgemeine motorische Koordination.
- Die eigentlichen Motivationsareale des limbischen Systems stehen dabei in Verbindung mit dem **Autonomen Nervensystem** und dem **Endokrinen System** hormoneller Steuerung.
- Insbesondere der *Hypothalamus* im Zwischenhirn ist der Kopf des Autonomen oder Vegetativen Nervensystems und des Endokrinen Systems der Hormone und bildet deren Schnittstelle zum Gehirn. Er ist das **Steuerzentrum für die innere Homöostase** oder das harmonisch ausbalancierte Gleichgewicht des Organismus, angefangen mit dem Schlaf-Wach-Rhythmus und sonstigen Biorhythmen über die Regelung von Körpertemperatur, Wasser- und Salzhushalt, Stoffwechsel, Ernährung und Wachstum bis zur Modulierung des Immunsystems und Geschlechtes. Der Hypothalamus ist mithin eine maßgebliche Grundlage für Motivation und Emotion.
- Das limbische System arbeitet ferner eng zusammen mit der *Hypophyse*, dem Relais zwischen Hypothalamus und den Hormondrüsen im Körper. Der Hypothalamus ist gewissermaßen der kontrollierende, diagnostizierende und modulierende innere Monitor oder Arzt und die Hypophyse eine Apotheke, die die Rezepte desselben einlöst und die entsprechenden Substanzen zubereitet und verabreicht.
- Zum limbischen System selbst gehören im Einzelnen insbesondere der **Mandelkern** (*Amygdala*), der das Emotionszentrum und speziell das

Furchtzentrum des Gehirns ist. Dies ist eine Struktur, die das vegetative Nervensystem und das emotionale, limbische System verknüpft. Zusammen mit dem in Folge vorzustellenden Ammonshorn baut er das emotionale Gedächtnis auf.

- Sodann zählt dazu das sog. **Ammonshorn** (*Hippokampus*). Dessen Funktion ist die dynamische assoziative Verknüpfung von Erlebnisinhalten und der Vergleich neuer mit gespeicherter Information sowie aktive Gedächtnisspeicherung. Ohne die Hippocampi der beiden Gehirnhälften können wir daher erstens nichts Neues mehr lernen und abspeichern. Sie überführen Informationen aus dem Kurzzeit- in das Langzeitgedächtnis, was man Konsolidierung nennt. Die Hippokampus-Formation ist damit das **interaktive Schaltzentrum des multisensorischen Assoziationskortex**, das fortlaufend die innere (= Bewusstseinsinhalte) und äußere (= Ortsbestimmung) Situation repräsentiert. Dazu gehört auch die **Integration vitaler Funktionen** (Nahrungsaufnahme, Verteidigung, Fortpflanzung) und die Regelung der motivationalen (hypothalamischen) Beeinflussung der hochstufigen multisensorischen Kognitionsareale. Aufgrund dieser dynamischen und hochkomplexen Leistungen ist das Ammonshorn die flexibelste Struktur des Gehirns mit der größten Plastizität nicht nur hinsichtlich der Genese und Modulation der synaptischen Verbindungen zwischen den Neuronen, sondern auch hinsichtlich der lebenslangen Fähigkeit zur Bildung neuer Nervenzellen.
- Eine weitere Formation des Limbischen Systems ist die **Gürtelwindung** (*Gyrus cinguli* oder kurz *Cingulum*). Sie liegt wie ein großer Gürtel dem sog. Balken (*Corpus callosum*) auf, der mit 200 Mio. Nervenfasern oder Axonen die beiden Großhirnhälften verbindet. Ihre Leistungen sind visuell-räumliche Orientierung, Sortierung widersprüchlicher Reize, Schmerzbewertung und Modulierung von Mimik und Gestik.
- Diese limbischen Areale stehen darüber hinaus in massiver wechselseitiger Kommunikation mit dem tertiären, für analytisches Denken und geplantes Handeln zuständigen, motorischen Zentrum. Diese Kommunikation und Kooperation findet statt im unteren präfrontalen Kortex, und wird tertiärer **limbischer Assoziationskortex** genannt.
- Eine vermittelnde Struktur ist hier besonders der sog. *Nucleus accumbens*. der anatomisch ein Teil des Streifenkörpers (*Corpus striatum*) der Grauen Kerne oder **Basalganglien** ist. Er ist der **Koordinator von Motivation, Emotion und Motorik**. Der *Nucleus accumbens* verbindet näherhin den Schweifkern und den Schalenkern, die zusammen den Streifenkörper der Basalganglien, deren Dateneingangsbereich, bilden (siehe unten). Er ist damit auch eine der wichtigsten Strukturen für operante **Konditionierung** und das — mit dem Neurotransmitter Dopamin arbeitende — **Belohnungs-System** und für **Glücksgefühle**, aber auch für **Süchte** und euphorisierende Drogen (Amphetamin, Kokain, Opiate, Barbiturate, Benzodiazepine, Nikotin, Alkohol, Geld).

Zum Hintergrund: Die Grauen Kerne oder Basalganglien an der inneren Basis des Großhirns gehören zur grauen Substanz des Kortex und sind gewissermaßen extraterritoriale Inseln desselben. Ihre Teilbereiche sind der Schweifkern (*Nucleus caudatus*) und der Linsenkern (*Nucleus lentiformis*), der noch einmal in den Bleichen Kern (*Pallidum* oder auch *Globus pallidus*) und den Schalenkern (*Putamen*) unterteilt ist. Der Bleiche Kern ist der Datenausgangsbereich der Basalganglien. Aufgaben dieses Systems liegen neben den bereits erwähnten in der Modulierung der **Erregbarkeit** des Großhirns, der **Aufmerksamkeit** und

**Gedächtnisspeicherung**, in der globalen feinmotorischen **Regelung der Willkürmotorik** und im **motorischen Gedächtnis** für prozedurale Fertigkeiten wie Klavierspielen, Schwimmen, Radfahren etc. Schädigungen erzeugen u.a. Parkinson, spastische Muskelstarre oder im Gegenteil Hyperkinese.

- In Synergie und in stärkster Vernetzung mit dem limbischen System ist somit der **motorische Kortex**, insbesondere der sog. frontale Kortex (Stirnbereich) — neben anderen wichtigen Funktionen — der neurobiologische Ort von **Motiven** und **Handlungsantrieben** sowie motorischer **Verhaltenssteuerung**.
- Noch spezieller vollzieht sich im **tertiären motorischen Zentrum**, meist präfrontaler oder prämotorischer Kortex genannt, u.a. die **Assoziation** von **Denken** und **Fühlen**, von Kognition und Emotion. Kurz: Es ist verantwortlich für die Umsetzung von Motiven in Handeln und kausales Verhalten aus bewussten Gründen.
- Ausfälle und Störungen dieses Bereichs führen zu Ablenkbarkeit, Hyperaktivität, Unregelmäßigkeit des Verhaltens, Wirkungslosigkeit sprachlich formulierter Regeln und Pläne (Handlungsprogramme), evidenzwidrige Uneinsichtigkeit und Sturheit, **Pseudo-Psychopathologie**, d.h. soziopathisches, antisoziales Verhalten (bei Störung des rechten präfrontalen Kortex), **Pseudo-Depressivität** (bei Störung des linken präfrontalen Kortex), fehlende Selbstkontrolle.
- Die enge Verbindung von Bewusstsein, Kognition, Handeln einerseits und Emotionen andererseits im Kontext der Biologischen Psychologie und Philosophie des Geistes hat v.a. Antonio Damasio herausgearbeitet und in dem weltweiten Erfolgsbuch *Ich fühle, also bin ich. Die Entschlüsselung des Bewusstseins*, München 2000, dokumentiert. Vgl. auch ders.: Eine Neurobiologie des Bewusstseins. In: A. Newen/K. Vogeley (Hrsg.) *Selbst und Gehirn. Menschliches Selbstbewusstsein und seine neurobiologischen Grundlagen*, Paderborn 2000b, 315—331). Damasio entwickelt dazu eine komplexe ontogenetisch aufeinanderfolgende, neuronale Binnenstruktur von intentionalen und reflexiven Bewusstseinsstufen, ähnlich wie sie Newen (Selbst und Selbstbewusstsein aus philosophischer und kognitionswissenschaftlicher Perspektive. In: Newen, A./ Vogeley, K. (Hrsg.) *Selbst und Gehirn. Menschliches Selbstbewusstsein und seine neurobiologischen Grundlagen*, Paderborn 2000, 19—55) von der Linguistik, Entwicklungspsychologie und philosophischen Analyse her formuliert.
- Insbesondere unterscheidet Damasio zunächst ein unbewusstes „**Proto-Selbst**“ des Organismus vermittelt der Hirnregionen, die „kontinuierlich ... den Zustand des lebendigen Körpers in seinen vielen Dimensionen in dynamischen Körperkarten“ repräsentieren (Damasio 2000b, 323, 324). Dies ist die neuronale Grundlage für die bewussten Instanzen des Bewusstseins. Dies ist einmal ein einfaches, von Gedächtnis und Sprache unabhängiges „**Kernbewusstsein**“ das „den Organismus mit einem Selbstgefühl (Kernselbst) bezüglich des Hier und Jetzt“ versieht (2000b, 318). Zum anderen ist es ein „*erweitertes Bewusstsein*“, das „viele verschiedene Ebenen und Abstufungen“ hat (2000b, 319) und sich „innerhalb der Lebensspanne eines Organismus entwickelt“: **Autobiographisches Selbst** (2000b, 319). Dieses Letztere umfasst personale Identität und das biographische Selbst in Vergangenheit und antizipierter Zukunft; es hat das Kernbewusstsein zur notwendigen Bedingung, aber nicht

umgekehrt (2000b, 319). Damasio: „Die Ausbildung einer Erste-Person-Perspektive, von Subjektivität, ist das eigentliche Rätsel des Bewusstseins“ (2000b, 321).

- Interessant für die interdisziplinäre Bewertung der kantischen Theorie ist, dass Damasio im Kern- und Erweiterungsbewusstsein empirische, mentale Repräsentationen erster Ordnung (von Objekten und vom Protoselbst) von reflexiv-intentionalen Repräsentationen zweiter Ordnung (nämlich als Objekt-Organismus-Beziehung) unterscheidet, die sehr genau der **empirischen Apperzeption** und objektiven **transzendentalen Einheit der Apperzeption** in der kantischen Theorie entsprechen: „Daraus resultiert ein ‚vereinheitlichtes Bewusstseinsfeld‘: eine klare mentale Vorstellung des Objekts innerhalb seines räumlichen und zeitlichen Kontexts *und* im Kontext des ‚Selbst‘“ (2000b, 328). Als neuroanatomische Kandidaten dieses Prozesses „kommen die Colliculi superiores [Formation des Mittelhirns, verantwortlich für multimodale sensorisch-räumliche Integration und Exploration], der Thalamus, der zinguläre Kortex, Teile des medialen parietalen Assoziationskortex und der präfrontale Kortex in Frage“ (2000b, 327).
- Bereits 50 Jahre vor Damasio hat der Persönlichkeitspsychologe und Begründer der Kulturanthropologie Erich Rothacker (1888—1965, Universität Bonn) die genauen Kernthesen von Damasios Modell des Geistes formuliert — in dem jahrzehntelangen Standardwerk der Persönlichkeitspsychologie *Schichten der Persönlichkeit* (<sup>5</sup>1952 [<sup>1</sup>1938]). Es nimmt ebenfalls durchgängig seinen Ausgang von der biologischen / medizinischen / psychologischen Datenbasis. Rothacker setzt wie später Damasio eine Tiefenperson an mit biologischer **Vitalschicht** oder vitalem Es (= Damasios Protoselbst) und psychischer **Gefühlsschicht** oder emotionalem Es bzw. Innesein (= Damasios Kernbewusstsein) und eine kognitiv-biographische Ichfunktion oder **Personschicht** (= Damasios Autobiographisches Selbst): „Das Gefühl ist der Keim des menschlichen Selbstbewusstseins. Es ist die typische Bewußtseinsform der Tiefenperson und wird im allgemeinen ... vom Ich nur partiell wach aufgenommen [...] Die ‚bewußte Persönlichkeit‘ ist ein Doppelprozeß [...] Einmal ist es Denken (sowohl es-haftes als auch person-haftes), und außerdem ist es bewußt (d.h. ich-haft und ich-gesteuert).“ (1952, 70, 78).
- Im Fazit ist das limbische System bei allen, auch und besonders hochstufigen Erkenntnisvorgängen und Verhaltensaktivitäten beteiligt. Es ist besonders entscheidend für die Verhaltensänderung auf der Grundlage körpereigener und mentaler Informationen (Freude, Lust, Interessen, Abneigungen) und/oder veränderter äußerer Reizbedingungen (kognitive Zukunftserwartungen), was mit der Unterdrückung traditioneller Verhaltensweisen (stereotyper Reaktionen) einhergeht.
- Die Großhirnrinde oder der Neokortex und deren exterritorialen limbischen Kerne sind hier wie grundsätzlich für keine der höheren Leistungen alleine verantwortlich. Ihre besondere Leistung ist vielmehr stets die durch die begriffliche mentale Repräsentation und die Sprache ermöglichte **Abstraktion, Kompression, Flexibilität und Beschleunigung** der Informationsverarbeitung und Verhaltenssteuerung.
- Der polymodale und supramodale Assoziationskortex (begriffliche Semantik) und die exakte Zeitordnung des präfrontalen Assoziationskortex

(transzendente Syntax) sind die spezifisch menschlichen Kompetenzen, die mit dem spezifisch menschlichen Symbolsystem Sprache korrelieren (semantisches Lexikon und syntaktische Grammatik).

- Grundlegend hierfür ist die **Zeitsynthese**: Geordnete Erfahrung und erfolgreiches Handeln ist eine Funktion der Zeitordnung oder zeitlichen Organisation der Kognition und Aktivierung, und diese wiederum eine Funktion der spontanen grammatisch-syntaktischen Aktivität (*effort*) des Bewusstseins (= Arbeitsgedächtnis) im Urteil. Zeitliche Kontiguität (Zeitordnung bzw. Zeitsynthese) ist das Grundprinzip der Erfahrung und Kognition und natürlich *a fortiori* intelligenten Planens und Handelns. Vgl. Wolf Singer: Ein neurobiologischer Erklärungsversuch zur Evolution von Bewusstsein und Selbstbewusstsein. In: A. Newen/K. Vogeley (Hrsg.) *Selbst und Gehirn. Menschliches Selbstbewusstsein und seine neurobiologischen Grundlagen*, Paderborn 2000, 333—351, v.a. 348—350: Es existiert eine neurologische Korrelation von **Bewusstsein** und bewusster Erfahrung und Synchronizität, **Zeitordnung**, also eines Zeitschematismus. Auch dies erinnert sehr stark an Kants philosophische Analysen.

- Singers weitere ebenso begründete wie neurobiologisch interessante These ist, dass für die Ausbildung eines echten personalen Selbst **soziale, kommunikative und handlungstheoretische Bedingungen** nötig sind, also intersubjektive Mitteilungen über motorische Effektorsysteme (Taten, Gesten, Sprachmotorik):

„Mein Vorschlag ist nun, daß durch, und erst durch diesen reziproken Abbildungsprozeß, durch diesen Dialog zwischen Gehirnen, die zusätzliche Erfahrung vermittelt wird, ein autonomes Wesen zu sein, das zu subjektiven Empfindungen fähig ist, frei entscheiden und Handlungen initiieren kann und sich seiner selbst als Individuum bewußt ist“ (a.a.O. 2000, 319).

Singer streift damit die kaum zu überschätzenden Ergebnisse der Bindungsforschung in der Entwicklungs- und Sozialpsychologie (vgl. Spitz (Hospitalism. An Inquiry into the genesis of psychiatric conditions in early childhood. In: *Psychoanalytic Study of the Child* 1, 1945, 53—74), Ainsworth (The development of infant-mother attachment. In: B. M. Caldwell / H. N. Ricciuti (eds.) *Review of child development research* (vol. 3), Chicago 1973), Bowlby (*Trennung*, München 1976, und *Verlust*, Frankfurt/M. 1983), Fonagy / Steele&Steele (Maternal representation of attachment during pregnancy. In: *Child development* 62, 1991, 891—905).

Diese spezifisch menschliche Ichkonstitution hängt von der interpersonalen Spiegelung des eigenen Selbst „von ‚Außen‘“ ab (2000, 340), und hat somit „eine zusätzliche historische Dimension“, ist ein „Produkt nicht nur der biologischen, sondern auch der kulturellen“ Sphäre (2000, 340, 350). Singers plädiert denn auch in der Bewusstseinsforschung für eine „Weitung des wissenschaftlichen Ansatzes“ (341—342) durch die Zusammenarbeit von Geisteswissenschaften und Neuro- und Kognitionswissenschaften.

- Hinsichtlich Motivation und Verhaltenssteuerung bedeutet dies: Die Randbedingungen und Zwänge der inneren und äußeren Welt können begriffsgesteuert (neokortikal) schnell verändert oder aufgegeben werden, wenn sich die kognitiven (neokortikalen) Erwartungen verändern. Dies ist die neurobiologische Evidenz für die relative, nicht absolute Freiheit des Handelns des Menschen. Kognitionsgesteuerte Motivation und Aktivierung bedeutet einen **Gestaltungsfreiraum** gegen und über den reizgesteuerten und empirisch-

assoziativen Motivationen. Letztere sind Netzwerke aus determinierten, angeborenen **Instinkten** und erworbenen **Reflexen**.

- Der Aufmerksamkeitsmechanismus bei neuen oder komplexen Situationen, Handlungen oder Reaktionsalternativen wird **LCCS** (*limited capacity control system* oder **quantitativ begrenztes Aufmerksamkeits-Kontrollsystem**) genannt, da es durch willentliche Anstrengung, d.h. kontrollierte Suche (*effort*) und aktive Bewegungsplanung gekennzeichnet ist.
- Das kognitive LCCS bzw. der *Effort*-Mechanismus hat zur Bedingung energetische Mechanismen, die die **Ressourcen** (durch größere Durchblutung und höhere Energiebereitstellung) für die Aktivierung sensorischer Systeme (*Arousal*) und motorischer Systeme (Aktivation) bereitstellen. Physische **Energieförderer** für das LCCS sind unspezifische Aktivierungssysteme in der sog. Retikularformation der Mittelhirns (MRF). In funktioneller Hinsicht werden sie **Aufsteigendes retikuläres Aktivierungssystem** (ARAS) genannt. Ihre Leistung ist das tonische **Wachbewusstsein**. Biologische Aktivatoren oder Treiber für kognitionsgesteuerte wie reizgesteuerte Motivation sind die angeborenen (homöostatischen) und erlernten (nichthomöostatischen) **Trieb**e oder Handlungsdispositionen.
- Bewusst geplante Bewegung (= Willkürmotorik) basiert mithin auf **vorbewusster physiologischer Ressourcenbereitstellung**. Das heißt: Auf der motorischen Ausgangs-Seite ist eine analoge vorbereitete Inkubationszeit wie bei der Sensorik für strikt willkürliche, d.h. bewusst intendierte Bewegungen (inklusive der Sprechmotorik in der Vokalisation), nachgewiesen worden. Es handelt sich um die vielerörterten sog. Libet-Experimente. Diese Inkubationszeit bzw. Ressourcenbereitstellung besteht in (1) **großflächigen**, über die motosensorischen Kontroll- und Exekutivsysteme in Frontal- und Scheitelregion des Gehirns ausgebreiteten, (2) **unspezifischen**, d.h. mit für jede willkürliche Bewegung weitgehend gleicher räumlicher Verteilung und gleichem Zeitverlauf, (3) **langsamen**: 0,8 s statt 1 ms bei normalen Aktionspotentialen, (4) **kleinen** und **elektrisch-negativen** Bereitschaftspotentialen: 10—15 Mikrovolt statt etwa 100 Mikrovolt bei normalen Aktionspotentialen. Diese haben die Form von (5) **Gleichspannungsverschiebungen**: d.h. sie verbleiben im Rahmen des negativen Ruhepotentials der Neuronen und wechseln nicht wie das Aktionspotential von negativ (−75 Millivolt) zu positiv (+30/40 Millivolt), die (6) ca. 0,8 s **vor dem Aktionspotential** der schließlich und spezifisch die Bewegung initierenden Motoneuronen des Kortex auftreten (vgl. Birbaumer / Schmidt: *Biologische Psychologie*, Heidelberg / Berlin / New York 1996, 526).
- Es besteht daher eine **Zeitdifferenz von physiologischer und intentionaler Verhaltensaktivierung**. Hieraus wird von Bestreitern der Handlungs- und Willensfreiheit abgeleitet, dass wir vor der bewussten Entscheidung und Handlung bereits physiologisch dazu determiniert worden sind. Dass dies angesichts der Faktenlage schon und **auch vom naturalistischen Standpunkt aus ein logischer Kurzschluss** ist, hat vielleicht am Besten Ansgar Beckermann gezeigt, der langjährige Präsident der Gesellschaft für Analytische Philosophie und Experte zur Analytischen Philosophie des Geistes. Folgende Texte bieten in verdichteter Form Beckermanns Argumentation: [Neuronale Determiniertheit und Freiheit](#) und [Freier Wille - Alles Illusion?](#) Weiterführend hierzu Beckermann: *Gehirn, Ich, Freiheit. Neurowissenschaften und Menschenbild*, Paderborn 2008; ders.: *Das Leib-Seele-Problem. Eine Einführung in die Philosophie des Geistes*,

Stuttgart 2008; und ders (zus. mit B. P. McLaughlin): *The Oxford Handbook of Philosophy of Mind*, Oxford 2009, sowie die [Seite Ansgar Beckermanns \(Universität Bielefeld\)](#). Ernstzunehmende Begründungen einer differenzierten Handlungs- und Willensfreiheit von naturalistischen Voraussetzungen aus bieten auch Michael Pauen: *Illusion Freiheit? Mögliche und unmögliche Konsequenzen der Hirnforschung*, Frankfurt am Main 2005, sowie Bettina Walde: *Willensfreiheit und Hirnforschung. Das Freiheitsmodell des epistemischen Libertarismus*, Paderborn 2006. Von biologischer und psychologischer Seite bietet Joachim Bauer: *Selbststeuerung*, München 2015, inzwischen eine bekannte Untersuchung der Libetexperimente. Seine Bilanz: Eine Infragestellung vernünftig verstandener Handlungs- und Willensfreiheit ergibt sich mitnichten.