

# **Die Seele — ein Gehirnprodukt? Die biologischen Grundlagen des Psychischen**

Von Giselher G u t t m a n n  
Institut für Psychologie der Universität Wien  
(Vortrag, gehalten am 7. Mai 1980)

## Inhalt

Die Gehirnabhängigkeit unseres Erlebens . . . . .	142
Nicht jedes Erregungsgeschehen wird bewußt . . .	144
Die nervöse Erregung — eine geheimnisvolle Kraft?	146
Die Ionen-Theorie der Erregung . . . . .	149
Aktionspotentiale — die Morsezeichen des Nervensystems . . . . .	151
Die Synapse — der Schalter des Nervensystems .	153
Das Schlüssel-Schloß-Prinzip: das Präzisionspuzzle der Molekularbiologie . . . . .	156
Opiate und Endorphine — künstliche und natürliche Schlüssel des Schmerzerlebens . . .	159
Das Hirnstrombild — ein Kennwert der Aktivierung . . . . .	163
Das evozierte Potential — ein objektiver Blick ins Erleben . . . . .	167
Die lokale Aktivierung — Ausdruck der aktuellen Leistungsfähigkeit . . . . .	171
Das Brain Trigger Design . . . . .	175
Steht Psychisches außerhalb der Naturgesetze? .	179
Statement des Theologen, Univ.-Prof. Dr. R. Schulte zum Vortrag . . . . .	181

„On Butterflies in the Brain“ — „Über Schmetterlinge im Gehirn“ lautet der Titel einer Publikation des amerikanischen Hirnforschers DOTY, mit dem er auf eine besonders spektakuläre Beobachtung der Hirnchirurgie anspielt, von der FÖRSTER in den 30er Jahren berichtete. Zu dieser Zeit wagte man sich erstmals an schwierigere Eingriffe im menschlichen Gehirn und mußte die Grenzen des gesunden Gewebes durch elektrische Reizungen feststellen. Als Nebenprodukt dieser Reizungen zeigte sich, daß nach Anregung eines Rindengebietes bisweilen schlagartig ganz bestimmte Bewußtseinsinhalte auftraten. Bei einer dieser Untersuchungen lag die Reizelektrode offensichtlich in einem optischen Assoziationsfeld und der Patient sah mit dem Einschalten des Reizstromes wahrnehmungsmäßig einen Schmetterling vor sich, der mit Ausschalten des Reizstromes sogleich wieder verschwunden war.

### **Die Gehirnhängigkeit unseres Erlebens**

Diese Schmetterlinge zeigen unmißverständlich, daß die Verankerung unseres Erlebens an eine organisch-materielle Grundlage noch viel wörtlicher zu nehmen ist als die weiter zurückliegenden Untersuchungen über Ausfälle bestimmter Hirnrindenzonen erkennen ließen. Schon diese hatten gezeigt, daß nach der Störung einer Rindenzone, die beispielsweise für die Verarbeitung der optischen Wahrnehmungen zuständig ist, die zugehörige Er-

lebnisfähigkeit unwiderbringlich verschwunden ist. Der Patient ist blind trotz intaktem Sinnesorgan und ungestörtem afferenten Erregungsschenkel. Für die gelegentlich — stillschweigend oder explizit — geäußerte Annahme, das psychische Geschehen lasse sich nicht mit naturwissenschaftlichen Begriffen erfassen, sondern folge anderen Gesetzmäßigkeiten, ja sei gar aus dem Wirkungsbereich der Kausalität ausgeklammert, findet sich nicht die geringste Bestätigung.

Zeigen schon die Läsionsstudien, daß jedes Erleben und Verhalten an die Funktion bestimmter Großhirnrindenzonen gebunden ist, läßt die Stimulationstechnik darüber hinaus die strenge kausale Verkettung zwischen Erregungsgeschehen und Erleben erkennen. Mit dem Auftreten einer bestimmten Erregungskonstellation kommt der entsprechende Bewußtseinsinhalt zustande — gleichgültig ob diese Erregungskonstellation auf „natürlichem Wege“ (also über das Bild eines Schmetterlings auf unserer Netzhaut und den daraus entstehenden Informationen) zustande kam, oder über einen künstlichen elektrischen Reiz ins Gehirn „eingeschmuggelt“ wurde.

Dieselben Effekte können wir auch im Tierversuch beobachten, wo gleichfalls das Anregen bestimmter Nervenzellsysteme zum Auftreten ganz spezifischer Verhaltensweisen führt. Schon HOLST hat dies vor Jahrzehnten eindrucksvoll zeigen können, indem er Techniken entwickelte, mit deren

Hilfe Elektroden auch in die Tiefe des Gehirns zu eng umschriebenen Zonen geführt werden können. Sobald der Reizstrom eingeschaltet wird, treten ganz bestimmte Verhaltensweisen auf, wie Flucht oder Angriffsverhalten, die freilich auch von den gleichzeitig vorhandenen Umweltreizen mitgeformt werden. Doch gerade dies zeigt die schicksalhafte Wirkung der ablaufenden Erregungskonstellation: Steht nach der Reizung einer Zone, die Angriffsverhalten auslöst, die Attrappe eines arttypischen Bodenfeinds zur Verfügung, so wird dieser zum Ziel des Angriffs gewählt.

Ist jedoch kein derartiges Feindbild vorhanden, sondern etwa nur die wohlvertraute Pflegerin, von der das Tier gewöhnt ist, gefüttert zu werden, wird dennoch nach einem kurzen Zögern der Angriff auch auf sie durchgeführt. Ein Aggressionsverhalten, vor dem das Tier selbst gleichsam verdrückt dazustehen scheint, wenn es abgelaufen ist. All diese Daten erhärten die Grundthese der Neuropsychologie: Unser gesamtes Erleben und Verhalten ist an die Aktivität bestimmter Hirnzonen gebunden; die Gesetze unseres Erlebens ruhen auf den Gesetzen des nervösen Erregungsgeschehens.

### **Nicht jedes Erregungsgeschehen wird bewußt**

Allerdings darf nicht übersehen werden, daß in unserem Gehirn auch Erregungsprozesse ablaufen, die nicht bewußt werden. Viele Erregungsinformationen sind wohl von außerordentlicher Bedeutung

für bestimmte Regelungen, werden aber nicht von Erlebnisinhalten begleitet. Ein spektakuläres Beispiel der Hirnforschung mag diese interessante Tatsache illustrieren. Bei Reizexperimenten in der Tiefe des Rattengehirns, ähnlich den oben geschilderten Untersuchungen von HOLST, trafen die Forscher OLDS und MILNER auf eine Region, nach deren Reizung weder Bewegungsaktivität noch offenbar irgendwelche Wahrnehmungen ausgelöst wurden. Vielmehr hatte die Stimulation eine ganz unerwartete Konsequenz: Jedes Verhalten, das vor dem Reiz abgelaufen war, wurde gleichsam „eingefangen“, d. h. seine Eintrittswahrscheinlichkeit stieg beträchtlich an. Wurde beispielsweise nach einer bestimmten Pfotenbewegung gereizt, dann trat bald nach dieser Reizung wieder dieselbe Pfotenbewegung auf und antwortete man darauf wieder mit einem Hirnreiz, trat bald nur mehr monoton dieses Bewegungsmuster auf.

Die Steuerfunktion dieser „Reinforcement-Zone“ wird besonders in der von den Untersuchern gewählten Selbstreizversuchsanordnung deutlich. Schaltet das Versuchstier durch einen Tastendruck, wie es ihn durch jede natürliche Belohnung sehr rasch lernen würde, selbst den elektrischen Reiz mit Bekräftigungswirkung ein, so wird es bald in diesem Kreisprozeß gefangen bleiben und die Taste drücken, bis es sich durch dieses Verhalten, bricht man den Versuch nicht zeitgerecht ab, sogar ums Leben bringt. Die Steuerung

von Verhaltensänderungen wird also von einem kleinen Zellareal in der Tiefe des Gehirns vollzogen, dessen Erregungsaktivität, wie wir wieder aus vergleichbaren humanmedizinischen Befunden wissen, nicht von Bewußtseinsprozessen begleitet wird!

Diese Beispiele mögen stellvertretend für eine unüberschaubare Fülle von Daten genügen, welche die Gehirnabhängigkeit unseres Erlebens und Verhaltens erkennen lassen. Die Frage, inwieweit jedoch auch für den psychischen Bereich lediglich die Gesetze der Naturwissenschaft Gültigkeit besitzen, wie weit „Freiheit“ in unserem Erleben und Verhalten Platz finden, ist damit aber noch nicht überzeugend beantwortet. Denn das in unserem Nervensystem ablaufende Erregungsgeschehen galt lange Zeit hindurch als ein Prozeß, der sich eben der Beschreibung durch die sonst überall wirkenden Naturgesetze zu entziehen schien. Können wir ihn wirklich mit physikalisch-chemischen Begriffen erschöpfend deuten und damit in das Netzwerk der naturwissenschaftlichen Gesetzmäßigkeiten einordnen?

### **Die nervöse Erregung — eine geheimnisvolle Kraft?**

Verfolgen wir zur Beantwortung dieser Frage das nervöse Erregungsgeschehen, beginnend am Ort seiner ersten Entstehung durch einen Sinnesreiz, also in einer Sinneszelle, in der eintreffende Reizenergieänderungen erstmals in ein lebendiges Abbild, also ein Erregungsgeschehen verwandelt wer-

den. An jeder Sinneszelle wird das wesentliche Konstruktionsprinzip einer Nervenzelle schon am äußeren Bauplan erkennbar. Jedes Neuron besitzt eine Eingangsseite, die dendritische Zone, an welcher es Informationen — in unserem Fall die Umweltreize — aufzunehmen imstande ist. Aus allen einlangenden Informationen formt es letztlich ein Signal, das über die Ausgangsseite, den Neuriten, weitergeleitet wird.

Die schon im vorigen Jahrhundert mit Verwunderung festgestellte Tatsache, daß die „Morsezeichen“, die an dieser Ausgangsseite weitergeleitet werden, immer dieselbe Intensität von rund einem Zehntel Volt (!) besitzen, hat viele Fragen aufgeworfen. Wie kann all das, was auf eine Zelle einströmt und von ihr verarbeitet wird, schließlich in einem derartigen Alles- oder Nichts-Prozeß kodiert werden? Tatsächlich gilt dieses Alles- oder Nichts-Prinzip keineswegs für das gesamte Erregungsgeschehen. Die Phase vielmehr, in welcher ein eintreffender Reiz in eine Erregung verwandelt wird, dieses erste physiologische Abbild der Außenwelt ist vielmehr ein kontinuierlicher Prozeß, durch den kleinste Veränderungen der Reizeigenheiten in winzigsten elektrischen Potentialverschiebungen der Nervenzellmembran abgebildet werden (Abb. 1).\*

---

\* Alle Abbildungen aus: G. GUTTMANN Lehrbuch der Neuropsychologie. Hans Huber, Bern 1982.

Für alle nervösen Erregungen, so unterschiedlich sie auch in ihrer Intensität und Verlaufsgesetzlichkeit sein mögen, gelten interessanterweise dieselben Entstehungsmechanismen. Hätte man von Anfang an um die Vielfalt der Erregungsprozesse gewußt, man hätte vielleicht nicht gewagt, für sie alle einen einzigen Oberbegriff — nervöse Erregung — vor-

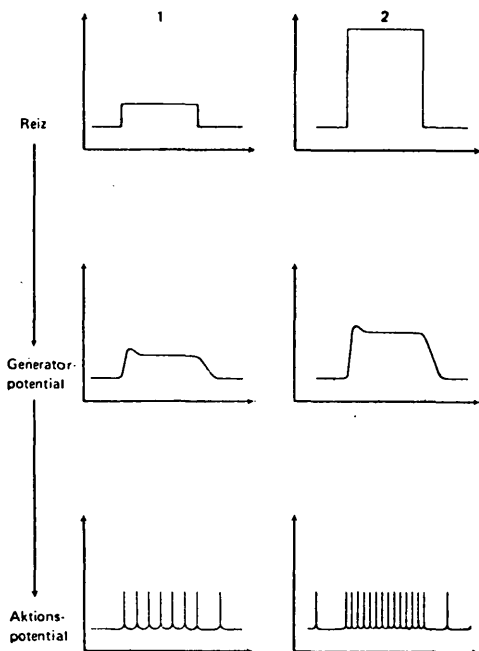


Abb. 1: Idealierte Darstellung der Beziehungen zwischen Reizstärke, Generatorpotentialgröße und Aktionspotentialfrequenz für einen schwachen (1) und einen stärkeren (2) Reiz.



zuschlagen. Die Unkenntnis hat jedoch zu einer richtigen Entscheidung geführt. So vielfältig die Erregungsprozesse auch sind, sie alle entstehen und verlaufen nach ein und demselben Grundmechanismus, dem wir ein wenig Aufmerksamkeit schenken wollen, weil erst er das bisher so geheimnisvoll scheinende Erregungsgeschehen naturwissenschaftlich faßbar machte. Und nur mit einer lückenlosen Kenntnis der Gesetze des Erregungsgeschehens ist es legitim, über die Gehirnabhängigkeit psychischer Prozesse zu diskutieren und nicht — wie früher so oft — die gesamte Verantwortung auf einem nicht näher erläuterten geheimnisvollen Erregungsbegriff lasten zu lassen.

### Die Ionen-Theorie der Erregung

Für eine kurze Erklärung des Erregungsgeschehens können wir von zwei schon lange bekannten Grundtatsachen ausgehen. Mißt man an einer unerregten Nervenzelle die elektrische Potentialdifferenz zwischen dem Zellinneren und der Umgebung, so beobachten wir einen beachtlichen Spannungsunterschied von rund  $-70$  mVolt, das Membranpotential oder Ruhepotential. Wird eine Zelle nun durch einen Reiz erregt, so kommt es zu einer Veränderung des Ruhepotentials und zwar im Sinne einer Abnahme der Elektronegativität. Erregung ist also nichts anderes als eine Depolarisation der Nervenzellmembran. Ist die Reizintensität nicht allzu stark, so folgt die Depolarisation

jeder noch so kleinen Reizänderung. Von einer bestimmten Intensität an kommt es zu einem vollständigen Umkippen der Potentialdifferenz und es entsteht ein gewaltiger Spannungsimpuls, der die Größe von fast einem Zehntel Volt erreicht.

Die zweite für unsere Überlegungen so entscheidende Beobachtung ist die Tatsache, daß im Anschluß an eine solche Erregung Natriumionen in größerer Konzentration im Zellinneren zu finden sind als vorher. Diese beiden Beobachtungen waren der Schlüssel zu einem nunmehr allgemein akzeptierten Erklärungsmodell. In allen Fällen kommt nervöse Erregung dadurch zustande, daß die Nervenzellmembran kurzzeitig bestimmte Substanzen passieren läßt, für die sie vorher ein undurchdringliches Hindernis dargestellt hatte. Im Ruhezustand ist die Nervenzellmembran ausschließlich für Kalium-Ionen permeabel, während sie im Zustand der Erregung für Natrium durchlässig wird. Da in der lebenden Zellmembran ein energiefordernder Prozeß andauernd Kalium ins Zellinnere und Natrium aus der Zelle in die Umgebung pumpt, also einen Kaliumüberschuß im Zellinneren und einen Natriumüberschuß in der Zellumgebung erzeugt, lassen sich sowohl das Ruhepotential wie auch die im Zustand der Erregung auftretenden Depolarisationen als einfache Diffusionspotentiale verstehen.

Es mögen diese Andeutungen ausreichen, da nicht alle Details der (tatsächlich höchst verwickelten) Prozesse von Interesse sind, sondern lediglich

die Feststellung, daß die Entstehung von nervöser Erregung an der Inputseite einer Nervenzelle wie alle übrigen Erregungsphänomene einen im Grunde verblüffend einfachen Mechanismus darstellen, den wir mit naturwissenschaftlichen Begriffen erfassen können.

Für die eigenartigen Veränderungen der Membran-Sperrfunktion hat man zunächst hypothetisch postulierte Membranporen verantwortlich gemacht, deren Natur jedoch in jüngster Zeit gleichfalls enträtselt werden konnte. Wirkte nämlich die Zellmembran zunächst als ein so einheitliches Gefüge, daß man sie mit Recht als Unit-Membran bezeichnete, so entdeckte man später, daß ihr Bau überaus kompliziert ist und Proteine eingelagert sind, welche die im Inneren der Unit-Membran liegende Lipoidschicht völlig verdrängen — Intrinsische Membranproteine — und die Rolle der Membranporen übernehmen.

### Aktionspotentiale — Die Morsezeichen des Nervensystems

Auf welche Weise werden nun aber die winzigen Spannungsänderungen weitergeleitet und zwar über Entfernungen, die bis zu einem Meter betragen können? Es wäre für einen Techniker keine ganz einfache Aufgabe, ein System zu entwickeln, in dem Potentialänderungen von wenigen Millionstel Volt unverändert über derartige Distanzen transportiert werden können!

Hier stoßen wir auf die Erklärung des merkwürdigen Alles-oder-Nichts-Gesetzes: Das Nervensystem bedient sich zur Überbrückung dieser großen Entfernungen gewissermaßen morsezeichenartiger Informationsträger, eben der AKTIONSPOTENTIALE. Und das Paradoxon, daß diese immer gleich groß sind, gleichgültig ob ein starker oder ein schwacher Reiz eingewirkt hat (also ein großes oder kleines Generatorpotential entstanden ist) klärt sich leicht auf:

Nicht in der Größe der Aktionspotentiale ist die Information verschlüsselt, sondern vielmehr im Abstand, in dem sie aufeinanderfolgen. Ein starker Reiz, der ein großes Generatorpotential auslöst, produziert eine dichte Aktionspotentialfolge, in der die einzelnen Spannungsspitzen in kurzen Abständen aufeinanderfolgen. Ein schwacher Reiz mit niedrigem Generatorpotential löst hingegen eine Aktionspotentialserie aus, in der die einzelnen Potentiale in großen zeitlichen Abständen aufeinanderfolgen.

Das Zustandekommen dieser „Puls-Abstands-Modulation“ erfordert nun wiederum keinerlei geheimnisvolle Hilfsmittel, sondern vollzieht sich vielmehr SELBSTTÄTIG durch einen verblüffend einfachen „Kunstgriff“: Am Beginn der Output-Region ist die Reizschwelle der Nervenzellmembran weit niedriger als in allen übrigen Zonen. Jede dorthin gelangende Depolarisation löst dadurch eine VOLLSTÄNDIGE Aufhebung der Membran-

sperrfunktion aus, durch welche der maximal mögliche Potentialsprung — eben das Aktionspotential — entsteht.

Breitet sich also ein großes Generatorpotential in diese Zone aus, so entstehen in sehr dichter Folge Aktionspotentiale. Ist das Generatorpotential hingegen klein, so wird durch jedes entstehende Aktionspotential für einen weit größeren Zeitraum die dorthin gelangte Elektronegativität „aufgebraucht“ (Abb. 1). Auch das seiner Intensität und Verlaufsgestalt vom Generatorpotential so verschiedene Aktionspotential ist jedoch wieder demselben Grundmechanismus der nervösen Erregung unterworfen und wird gleichfalls durch nichts anderes verursacht, als eine kurzzeitige Permeabilitätsänderung der Membran (Abb. 2). Die dafür zuständigen Poren ändern ihre Permeabilität unter der Einwirkung von elektrischen Spannungsänderungen, sind also spannungsgesteuert (Voltage Gated).

### **Die Synapse — Der Schalter des Nervensystems**

Verfolgen wir den Weg einer nervösen Information weiter, so stoßen wir auf eine überraschende Komplikation. In der Endzone verzweigt sich jeder Neurit und bildet eine Vielzahl von bläschenförmigen Gebilden, die offensichtlich die Kontaktstellen zu den nachfolgenden Nervenzellen sind (bzw. wenn die betreffende Zelle das letzte Glied in einer Erregungskette ist, zu einem Effektor): die Synap-

sen. Obgleich beachtliche Spannungsimpulse zu den Synapsen gelangen, werden diese nicht unmittelbar auf die Folgezellen weitergegeben. Die Aufgabe der Synapse besteht vielmehr darin, die in der Membran bereitliegenden Substanzen, die Neurotransmitter freizusetzen, sobald ein Aktionspotential eintrifft. Nur diese Transmitter wandern über die

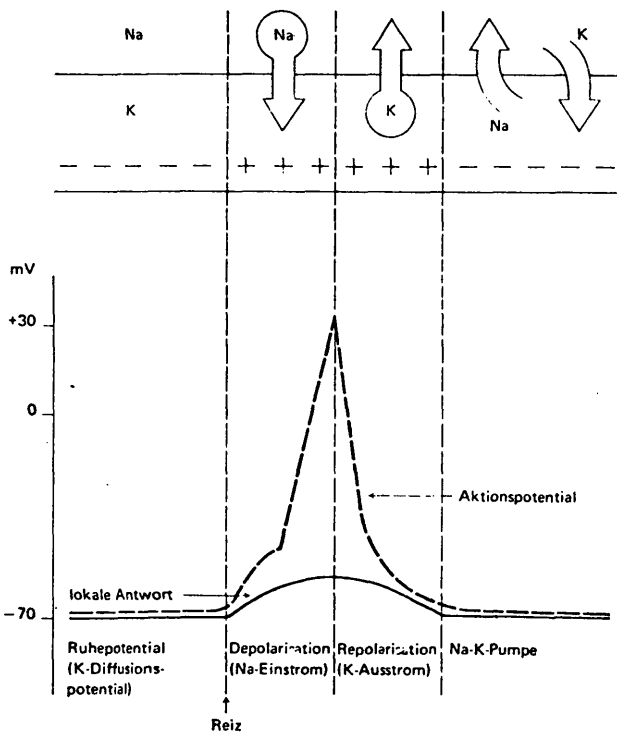


Abb. 2: Der Grundmechanismus der nervösen Erregung.

Synapsenspalte und bewirken in der nachfolgenden Nervenzelle eine nachhaltige Veränderung ihres Erregungszustandes.

Warum dieser eigenartige Umweg gewählt werden mußte, um nervöse Informationen zu übertragen, kann an einem instruktiven Beispiel illustriert werden. Vor Jahrzehnten versuchte HEBB auf der Basis aller damals verfügbaren neurophysiologischen Kenntnisse eine Verhaltenstheorie zu formulieren. Da zu dieser Zeit nur die Funktion von erregenden Synapsen bekannt war, durch deren Wirkung also in einer nachfolgenden Nervenzelle die Erregbarkeit erhöht wird, stützte HEBB seine Überlegungen auf diesen Mechanismus. Spätere Computersimulationen dieser Überlegungen zeigten erst, daß ein derartiges Modell gar nicht imstande wäre, selbst die einfachsten Lernphänomene zu vollziehen. Wohl läßt sich eine simple Konditionierung herstellen, aber schon das Verlernen dieser Reaktion, ein Diskriminations- oder Habituationsprozeß, wären durch ein Nervennetz mit ausschließlich erregenden Kontaktstellen nicht realisierbar. Man braucht vielmehr einen hemmenden Gegenspieler, eine blockierende Synapse, ein Wechselspiel von Exzitation und Inhibition.

Und eben dies wird durch die Natur der in der Synapse bereitliegenden Transmitter gewährleistet. Einige von ihnen sind nämlich imstande, in der Zellmembran der nachfolgenden Zelle, auf die sie einwirken, genau die Veränderungen auszulösen,

die wir oben bei der Entstehung der nervösen Erregung beschrieben haben: Die Permeabilität der Membranporen für Natrium nimmt zu, es kommt zu einer begrenzten Depolarisation. Eine andere Gruppe von Substanzen hingegen hat genau den gegenteiligen Effekt und unter ihrer Wirkung wird das Ruhepotential noch weiter in Richtung Elektonegativität verschoben, sodaß die Zelle in einen Zustand geringerer Erregbarkeit gerät.

Ich habe diese Mechanismen etwas detaillierter dargestellt, weil in den meisten Verhaltenstheorien zu Recht gerade der Synapse eine besondere Verantwortung übertragen wird. Eine Kenntnis ihrer Funktion ist für jede neuropsychologische Modellbildung unerläßlich und gerade an ihr zeigt sich, daß die „Schaltvorgänge“ des Nervensystems nicht außerhalb der uns bekannten biologischen Gesetzmäßigkeiten ablaufen. Ganz im Gegenteil: Das Funktionsprinzip, dem sie unterworfen sind, ist eines der umfassendsten und im Bereich der belebten Materie am verbreitetsten.

### **Das Schlüssel-Schloß-Prinzip:**

#### **Das Präzisionspuzzle der Molekularbiologie**

Die von der Synapse ausgeschütteten Transmittersubstanzen erfüllen nämlich aufgrund ihrer besonderen Molekülgestalt, also ihrer stereochemischen Eigenschaften, die Funktion eines Schlüssels, für den in der Zellmembran der nachfolgenden Zelle komplementäre Strukturen als Schlösser be-



reitliegen. Für ein bestimmtes Schloß muß, soll es aktiviert werden, der richtige Schlüssel vorhanden sein. Bei der synaptischen Erregungsübertragung ist nun seine Funktion im Grunde genau dieselbe, wie wir sie oben für die Erregungsentstehung und Erregungsweiterleitung kennengelernt haben. Wieder werden Membranporen in ihrer Durchlässigkeit verändert, der Schlüssel sperrt gewissermaßen die Kanäle auf und zu, die durch die intrinsischen Membranproteine gebildet werden. Dabei kann die Membranpore unmittelbar beeinflusst werden und dadurch eine kürzer dauernde Erregungsänderung ausgelöst werden oder aber durch das Aufsperrn ein lawinenartiger biochemischer Prozeß in Gang gesetzt werden, der ausgedehntere und längerdauernde Erregungsänderungen zur Folge hat (Abb. 3). Waren all dies zunächst spekulative Hilfsvorstellungen, so ist es in jüngster Zeit durch raffinierte elektronenmikroskopische Aufnahmen gelungen, das Öffnen und Schließen derartiger Poren wenige Millisekunden nach Ausschüttung der Transmittersubstanz sogar optisch sichtbar zu machen.

Die neuronale Informationsübertragung bedient sich damit derselben Werkzeuge, wie ein ganz anderes System, von dem wir erst in jüngster Zeit gelernt haben, daß es gleichfalls mit Hilfe des Schlüssel-Schloß-Prinzips Informationen zu verschiedensten Zonen des Körpers zu transportieren imstande ist: Das HORMONSYSTEM. Seine Nach-

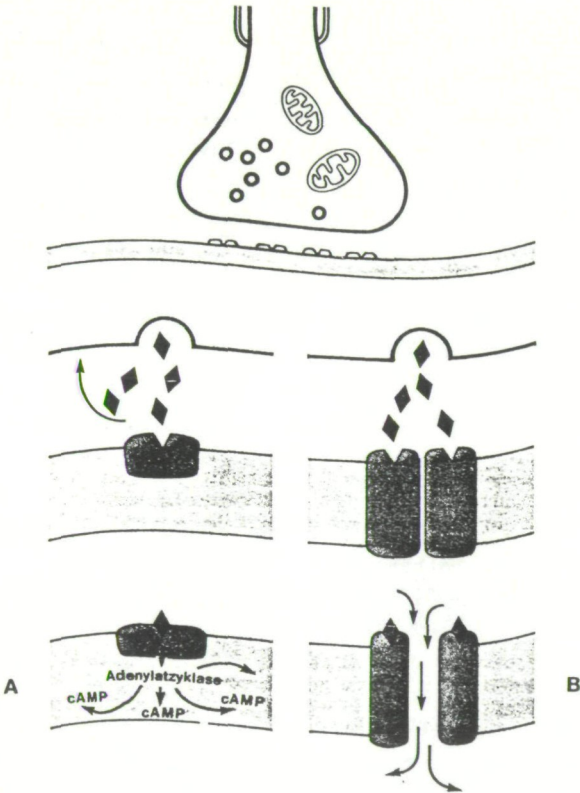


Abb. 3: Bauplan einer Synapse:

Im präsynaptischen Endstück liegt in Vesikeln der Neurotransmitter bereit, der nach seiner Freisetzung mit den Rezeptoren der subsynaptischen Membran in Kontakt tritt. Dabei sind zwei Typen der Transmitterwirkung zu unterscheiden:

- (a) Die Kontaktnahme von Transmitter und Rezeptor löst lawinenartig eine längerdauernde durch das cAMP vermittelte Erregbarkeitsveränderung aus.
- (b) Die Rezeptoraktivierung beeinflusst unmittelbar die Permeabilität einer Membranpore.

richten nannte WIENER recht treffend „to whom it may concern-messages“: eine Information wird verteilt und derjenige, den es angeht, meldet sich und befolgt den Auftrag.

Diese Steuerung beruht überraschenderweise auf genau demselben Mechanismus wie die nervöse Informationsübertragung. Auch die für bestimmte Hormone sensitiven Zellen besitzen Rezeptoren, in welche nur ganz bestimmte Moleküle „passen“. Treten diese mit dem Rezeptor in Wechselwirkung, so wird gleichfalls ein Steuerprozeß in Gang gesetzt, der den Funktionszustand der betreffenden Zelle ändert.

Daher wirken auch Hormone keineswegs unspezifisch, sondern finden ihren Weg zu ganz bestimmten Adressaten. Im Gehirn stoßen wir beispielsweise in einigen Regionen auf Nervenzellen, die Rezeptoren für Nebennierenrindenhormone besitzen und somit nur bei höchster Belastung unter Stress ihren Erregungszustand ändern. Andere wieder sind Zielzellen für Sexualhormone und werden offensichtlich unter deren Wirkung in ihrem Erregungszustand beeinflußt.

### **Opiate und Endorphine — Künstliche und natürliche Schlüssel des Schmerzerlebens**

Auch bestimmte Drogen entfalten ihre Wirkung nach einem Schlüssel-Schloß-Prinzip. So vor allem die neuerdings so viel diskutierten Opiate. Ihre

schmerzstillende und beruhigende Wirkung war schon im Altertum bekannt. Ebenso lange weiß man aber auch um einen katastrophalen Nebeneffekt: Nach längerem Gebrauch wird man abhängig und kommt nicht mehr von der Droge los. Daher versuchte man immer wieder, chemisch modifizierte Substanzen herzustellen, die wohl die schmerzstillende, analgetische Wirkung besitzen, aber nicht zu Abhängigkeit führen. Gerade das so berüchtigt gewordene Heroin ist das Ergebnis eines dieser Versuche. Doch auch für diese Substanz zeigte sich bald, was für alle anderen gegolten hat: Die analgetisch-beruhigenden Effekte lassen sich nicht von der Suchtgefahr abkuppeln.

Eine Kenntnis des Wirkmechanismus dieser Drogen macht uns dies verständlich. Auch diese Substanzen sind nichts anderes als Schlüssel, für die in unserem Körper Rezeptoren bereitliegen. Ein mittelbarer Hinweis darauf war schon die Beobachtung, daß Isomere von Opiaten, also Spiegelbildformen der Normalmoleküle, völlig wirkungslos sind. Ebenso führen geringfügige Veränderungen eines Opiatmoleküls dazu, daß es schlagartig seine Wirksamkeit einbüßt. Wir können das gleichnishafte Bild von Schlüssel und Schloß ganz wörtlich nehmen. Auch ein Sicherheitsschloß verträgt es nicht, wenn in seinem kritischen Bereich kleinste Veränderungen vorgenommen, eine winzige Kerbe dazugefeilt wird.

Was die Opiate betrifft, wirft diese Beobachtung

freilich eine überraschende Frage auf. Wenn diese also auf bestimmte Rezeptoren in unserem Organismus wirken — wer hat uns vor Jahrmillionen den Bauplan für derartige Rezeptoren mitgegeben, für ein Erzeugnis der Chemie wie Heroin, das erst im 20. Jahrhundert geschaffen wurde? SNYDER formuliert treffend: Der Mensch, der nicht mit Morphin im Körper erschaffen wurde, muß offensichtlich eine opiumähnliche Substanz produzieren, die natürlicherweise auf diese Rezeptoren wirkt.

Diese Überlegung führte zu einer intensiven Suche nach derartigen „inneren Opiaten“, — Endorphinen oder Enkephalinen — die schließlich von Erfolg gekrönt war. Es gibt tatsächlich Substanzen, deren Biosynthese in unserem Gehirn abläuft und welche dieselben stereochemischen Eigenschaften besitzen wie Opiate. Sie sind offenbar besonders wirksame Schlüssel, um die Aktivität derjenigen Nervenzellen zu steuern, die für das Verarbeiten von Schmerzinformationen und Angst zuständig sind.

Damit verschwimmt, von der Steuerfunktion her gesehen, die Grenze zwischen Neurotransmittern, Hormonen und Endorphinen. Zu Recht hat man den Oberbegriff „Neuroregulator“ geprägt, und versteht darunter Substanzen, die das Erregungsniveau einer Nervenzelle zu beeinflussen imstande sind. Manche wirken lokal und erzeugen meist kurzzeitige Veränderungen der Erregbarkeit wie synaptische Transmitter, andere werden über

die Blutbahn angeliefert und setzen an anderen Rezeptoren an, wie Hormone und Endorphine, beeinflussen aber gleichfalls das Erregungsniveau einer Nervenzelle.

So schließt sich das gesamte neuronale Steuersystem zu einem geschlossenen Gefüge, in dem wir nirgendwo eine Stelle erkennen können, an der Naturgesetze außer Kraft gesetzt, die Kausalität in Frage gestellt, oder ein Prozeß sich in grundsätzlich geheimnisvollem Dunkel verbergen würde. Es soll nicht übersehen werden, daß auch in diesem Bereich immer neue Erkenntnisse erarbeitet werden und jede Lösung weitere Fragen aufwirft. Entscheidend ist jedoch, daß wir all diese Prozesse mit dem Rüstzeug unseres naturwissenschaftlichen Denkens interpretieren, verstehen und vorhersagen können.

Die Kenntnis des Erregungsgeschehens erlaubt uns aber auch, das Zustandekommen derjenigen Phänomene zu verstehen, die für die Neuropsychologie eine ganz besondere Bedeutung erlangt haben: Die beträchtlichen Spannungsschwankungen der nervösen Erregung lassen sich nämlich mit ausreichend empfindlichen Verstärkern schon von der unversehrten Kopfhaut ableiten und beobachten. Diesem Phänomen hat von Anfang an die Aufmerksamkeit der Wiener Schule gegolten und wir wollen einige besonders überzeugende Daten über die Hirnabhängigkeit unseres Erlebens anhand dieses Phänomens diskutieren.

## Das Hirnstrombild — ein Kennwert der Aktivierung

Schon im vorigen Jahrhundert war aus Tierversuchen, in denen man von der freigelegten Großhirnrinde ableitete, bekannt, daß das Gehirn unablässig elektrische Potentialschwankungen produziert. Das damals noch nicht recht interpretierbare Phänomen geriet in Vergessenheit und nach mehreren unabhängigen Wiederentdeckungen gelang es erst 1924 BERGER, auch am Menschen derartige rhythmische Potentialänderungen nachzuweisen. Dieses Hirnstrombild oder Elektroenzephalogramm (EEG) erwies sich bald als überaus wichtiges medizinisches Diagnosehilfsmittel, da bei bestimmten neurologischen Störungen höchst charakteristische Veränderungen auftreten. Doch auch die psychologische Forschung setzte große Hoffnungen in dieses neu entdeckte Phänomen.

Einer der ersten, der die psychologische Bedeutung des Hirnstrombildes systematisch zu untersuchen begann, war Hubert ROHRACHER, der bereits 1935, also kurze Zeit nach der Erstpublikation des EEG's, wegweisende Untersuchungen vorweisen konnte. Das von ihm beschriebene Phänomen betrifft den auch heute noch aussagekräftigsten Aspekt des Hirnstrombildes: Es ist ein sensibler Kennwert für den Grad unserer aktuellen Wachheit, also unseres Aktivierungsniveaus. Der Übergang von hellwach-konzentrierter Aufmerksamkeit zum dösigen-entspannten Ruhezustand wird

in charakteristischen Veränderungen des Wellenmusters erkennbar. Ebenso können wir den Wechsel vom Wachzustand in den Schlafzustand und auch das Durchwandern klar voneinander abgehobener Schlafstadien erkennen. Ja selbst Beginn und Ende einer Traumphase lassen sich objektiv am EEG ablesen und eröffnen damit einen Zugang zu Untersuchungen, die anders gar nicht möglich wären.

So ließ sich etwa nachweisen, daß Traumaktivität nur gelegentlich — im Durchschnitt alle eineinhalb Stunden — während des Schlafes auftritt und nur kurze Zeit hindurch andauert. Auch bei Tieren laufen derartige periodische Traumphasen ab. Ein ganz besonders überraschender Befund war die Beobachtung, daß diese Traumaktivität nicht unterbunden werden darf: Hindert man ein Lebewesen am Träumen, was durch die objektiv beobachtbaren Begleiterscheinungen möglich ist, so zeigen sich bei Mensch und Tier bald erhebliche Störungen des Gesamtbefindens. Es kommt zu Affektlabilität, Konzentrationsstörungen, vegetativen Fehlfunktionen, die erst wieder verschwinden, wenn durch ungestörte Bedingungen die verlorengegangene Traumaktivität nachgeholt werden konnte.

Mit diesem Beispiel sei die Erwartung kurz illustriert, die schon BERGER in das neu entdeckte Phänomen gesetzt hatte: Die so unübersteigbare Barriere des Fremdpsychischen zu überbrücken und



gleichsam einen objektiven Zugang zum Erleben eines anderen zu finden. Weder die medizinisch-diagnostischen EEG-Zeichen, noch die genannten Schlafuntersuchungen können freilich als ein solch objektiver Blick in den psychischen Bereich aufgefaßt werden. Denn tatsächlich liefern sie uns nichts anderes als Kennwerte der Aktiviertheit und sind keineswegs Grundlage eines spezifischen psychischen Prozesses, wie ihn BERGER im Hirnstrombild zu finden hoffte und ROHRACHER in einer bemerkenswerten Arbeit — mit den damals verfügbaren Techniken freilich vergeblich — zu sichern suchte.

Wenn jedes Erleben an die Aktivität ganz bestimmter Nervenzellen gebunden ist und wenn eben diese Nervenzellen im Zuge ihrer Aktivität gewaltige Potentialschwankungen produzieren, müßte es doch möglich sein, diese Potentiale mit ausreichend empfindlichen Verstärkern auch von der unversehrten Kopfhaut abzuleiten und dadurch tatsächlich das Korrelat eines Bewußtseinsprozesses zu beobachten. Daß sich auch bei feinsten Analysemethoden nach Darbietung eines Sinnesreizes im EEG unmittelbar keine spezifischen Veränderungen erkennen lassen, hat freilich eine Ursache, die erst Jahrzehnte später erfaßt wurde.

Für einen spezifischen Erlebnisinhalt ist jeweils nur eine kleine Zahl von Nervenzellen verantwortlich. Zahllose andere Neuronen, teils in unmittelbarer Nachbarschaft von diesen, sind jedoch gleich-

falls aktiv und produzieren ein Gewirr von Potentialschwankungen, in denen das eigentlich interessierende Geschehen hoffnungslos untergeht. Könnte man all die Millionen von Nervenzellen, welche die Störaktivität produzieren, für kurze Zeit zum Schweigen bringen und nur die kleine Anzahl aktiv lassen, die am Zustandekommen des gerade beobachteten Bewußtseinsprozesses beteiligt sind, so würde deren Potentialschwankung, von der unversehrten Kopfhaut abgeleitet, nur mehr einige Millionstel Volt betragen.

Die Störaktivität, in der dieses winzige Potential verschwindet, ist aber um ein Vielfaches größer. Wir stehen damit vor dem der Technik nicht neuen Problem, ein sehr schwaches Signal zu beobachten, das in einem Rauschen verborgen ist, das um ein Vielfaches intensiver ist. Diese Schwierigkeit, gewissermaßen jemanden flüstern zu hören, der auf der anderen Seite einer verkehrsreichen Straße steht, ist nicht unlösbar, vorausgesetzt, das Signal kehrt zu mehreren und wohl bekannten Zeitpunkten wieder.

Summieren wir in einem solchen Fall immer vom Signalbeginn an das gesamte Geschehen, so wird sich das unspezifische Rauschen — das einmal im Augenblick des Signalbeginns ansteigen dann wieder abfallen wird — mit jeder Wiederholung mehr und mehr „ausmitteln“, während das Signal, wie schwach es auch sein mag, mit jeder Wiederholung größer und deutlicher hervortritt. Diese einfache

Strategie, durch mehrfache Reizwiederholung das zunächst unsichtbare Potential aus dem Rauschen des EEG's herauszuholen, erfüllt den so unerreichbar scheinenden Wunsch nach einer „inneren Psychophysik“ (FECHNER).

### **Das evozierte Potential — Ein objektiver Blick in's Erleben**

Zunächst durch mühsame händische Auswertungen, bald aber durch geeignete Computerhilfsmittel unterstützt, konnte dieser im Grunde simple Auswertungsprozeß vorgenommen und damit ein überaus bedeutsames physiologisches Geschehen erfaßt werden: Ein Potential, das unmittelbares Abbild von Bewußtseinsprozessen ist. Tatsächlich erlauben diese sogenannten sensorisch evozierten Potentiale einen Blick in das Erleben eines Menschen. In ihrer Verlaufsgestalt sind sie so typisch, daß der Kundige ein optisches von einem akustischen, ein Geruchs- von einem Geschmackspotential unterscheiden kann. Ja selbst Unterschiede innerhalb einer Sinnesmodalität wie Farbigkeit eines Reizes oder Intensität eines Tones kommen im Potential zum Vorschein.

Gerade im akustischen Bereich wurden damit Nutzenwendungen möglich, die die Bedeutung dieses Phänomens ganz besonders anschaulich illustrieren. Eine konventionelle Hörfähigkeitsprüfung setzt voraus, daß die untersuchte Person lange und aufmerksam auf verschiedene schwellennahe Reize

reagiert und bekannt gibt, ob sie Töne wahrnimmt und Unterschiede zu empfinden imstande ist. Ist jemand nicht gewillt oder in der Lage diese Auskünfte zu geben, so können wir keine sichere Aussage über sein Hörvermögen machen.

Gerade bei neurologischen Erkrankungen oder, als noch bedeutsamerer Fall, beim Säugling und Neugeborenen, sind aber derartige Untersuchungen oft von ganz besonderer Bedeutung und hier wurde erstmals das akustisch evozierte Potential zum einzig möglichen und über alle Erwartungen verlässlichen Zugang. Es tritt nämlich genau dann auf, wenn der akustische Reiz die Hörschwelle erreicht: unterschwellige Reize evozieren noch kein Potential und mit jedem Stärkerwerden des Reizes steigen bestimmte Potentialamplituden in einer so streng gesetzmäßigen Abhängigkeit an, daß aus der Größe des Potentials die Stärke der Wahrnehmung rekonstruiert werden kann (Abb. 4).

Dies zeigt besonders deutlich eine Versuchsanordnung, die ich entwickelt habe, um die theoretisch höchst bedeutsame Frage zu klären, ob diese Potentiale wirklich als Ausdruck unseres Erlebens angesehen werden können, oder im Grunde doch nichts anderes sind als ein getreues Abbild des Reizes, wenn auch auf höchster Integrationsebene. Dies läßt sich durch Situationen entscheiden, in denen objektiv gleiche, unveränderte Reize unterschiedlich wahrgenommen werden. Man kann das unschwer provozieren, indem man beispielsweise län-

gere Zeit hindurch unveränderte Töne darbietet und die Person instruiert, darauf zu achten, ob gelegentlich leisere oder lautere Töne eingestreut sind und dies zu melden.

Fast jede Versuchsperson meint, trotz objektiv unveränderter Lautstärke vereinzelt derartige Intensitätsabweichungen zu hören. Analysieren wir nun lediglich die als *leiser* erlebten Töne und stellen ihr Potential dem der *lauter* wahrgenommenen gegenüber, bestätigt sich die Erwartung. Das Potential spiegelt das Erleben wider, trotz gleicher Reizstärke ist das Potential der laut erlebten Reize größer im Vergleich zu dem der leise

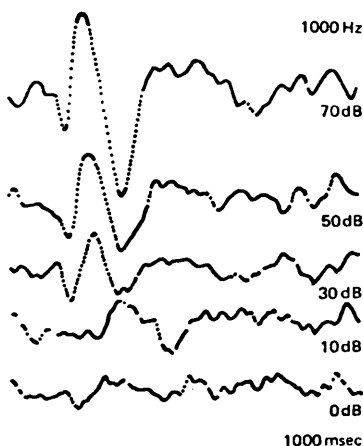


Abb. 4: Die Veränderung des akustisch evozierten Potentials mit steigender Reizintensität. Mitteilung von je 35 Reizantworten bei Stimulation mit einem Dauerton von 1000 Hz.

wahrgenommenen. Wir können es tatsächlich als Korrelat eines spezifischen psychischen Prozesses ansehen (Abb. 5).

Daher verschwindet auch ein Potential, wenn lange Zeit hindurch ein Reiz unverändert monoton dargeboten wird. Sobald wir ihn nicht mehr wahrnehmen — Alltagsbeispiele für derartige Habituationseffekte sind etwa das Ticken einer Uhr oder das rhythmische Rattern eines fahrenden Zuges — verflacht auch das zugehörige Potential. Nach der Untersuchung der durch Sinnesreize ausgelösten Potentiale, die naturgemäß vergleichsweise einfach durchzuführen war, wurden aber auch Potentiale beobachtet, die einem Spontanverhalten vorausgehen bzw. es begleiten, ja selbst Potentiale, die als Korrelat von Vorstellungen anzusehen sind. Die möglichen Nutzenanwendungen dieser Erkenntnisse sind kaum abzusehen. Ist doch durch sie eine

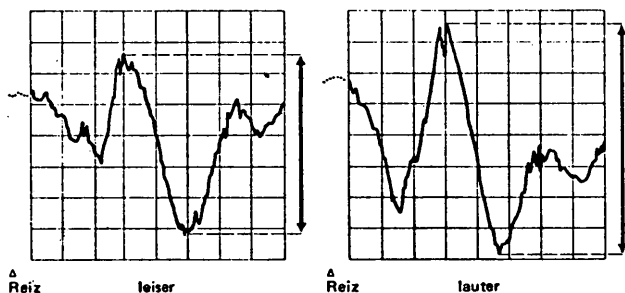


Abb. 5: Der Zusammenhang zwischen evoziertem Potential und Erleben: Potentialunterschiede bei objektiv gleichbleibenden, aber unterschiedlich laut erlebten Clicks.

grundlegende methodische Problematik behoben, daß nämlich der Psychologie ihr Objekt — das Erleben — niemals unmittelbar zugänglich ist, sondern nur durch sprachliche Kommunikation oder die Zwischenschaltung eines Verhaltens faßbar wird.

### **Die lokale Aktivierung — Ausdruck der aktuellen Leistungsfähigkeit**

Wir haben festgestellt, daß nicht jede Reizung im Gehirn ein Erleben auslöst, sondern vielmehr Stimulationen beachtliche Folgen haben können ohne von Bewußtseinsprozessen begleitet zu sein. Wir wollen hiefür auch ein Beispiel aus dem Bereich der hirnelektrischen Aktivitäten anschließen, dem das Wiener Institut neuerdings besondere Aufmerksamkeit gewidmet hat. Das Aktivierungsniveau, also der jeweilige Zustand der Wachheit und Reaktionsbereitschaft eines Lebewesens kommt nämlich nicht nur in den Veränderungen der Wellenmuster des Hirnstrombildes zum Ausdruck. Dieses Auf und Ab der Erregbarkeit der Großhirnrinde können wir vielmehr an verschiedensten Kennwerten ablesen. Einer der anschaulichsten ist der Durchblutungsgrad der Hirnrinde.

Nach Injektion eines radioaktiven Präparates in die Blutbahn läßt sich durch geeignete Hilfsmittel der Durchblutungsgrad der Großhirnrinde sichtbar machen. Dabei wird der Wechsel verschiedener Aktivierungszustände geradezu bildhaft sichtbar. Die Großhirnrinde einer entspannt vor sich hindösen-

den Person ist generell schwach durchblutet (Abb. 6). Setzen wir nun einen unerwarteten Schreckreiz, so kommt es schlagartig zu einem Ansteigen der Hirndurchblutung; die generelle Aktivierung löst gleichsam ein „Erröten“ der Großhirnrinde aus.

Doch auch lokale Aktivierungen werden auf diesem Wege sichtbar. Instruieren wir etwa eine Person, eine kompliziertere Greifbewegung durchzuführen, so bleiben eng begrenzte Zonen erhöhter Durchblutung in den an diesen Prozeß beteiligten motorischen Zonen bestehen, während alle anderen Regionen rasch in einen schwach durchbluteten Zustand übergehen. Eine darauf folgende Instruktion, auf Töne zu achten, löst hingegen sogleich eine begrenzte Lokalaktivierung im Bereich der Hörrinde aus.

Ich habe diese Beispiele gewählt, obwohl sie nur in medizinischen Untersuchungssituationen gewonnen werden können, weil sie ebensogut denjenigen Kennwert veranschaulichen könnten, dem unsere besondere Aufmerksamkeit gilt und der als unmittelbarer Ausdruck der lokalen kortikalen Erregbarkeit angesehen werden kann: Das jeweilige Gleichspannungsniveau der Großhirnrinde. Abgesehen nämlich von den Wellenmustern des Hirnstrombildes und den oben besprochenen Begleiterscheinungen spezifischer Aktivitäten ist jeder Punkt unserer Gehirnoberfläche, verglichen mit einem Bezugspunkt in der Tiefe der weißen Fasermassen, nicht elektrisch neutral, sondern befindet sich, einer



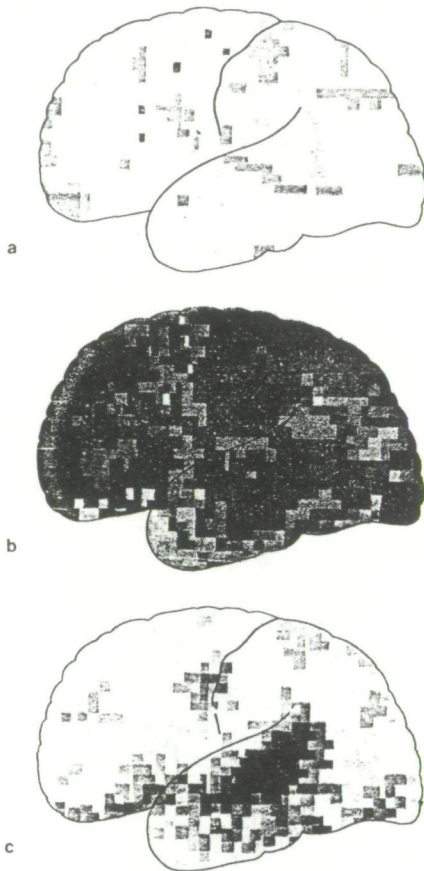


Abb. 6: Die Durchblutung der Großhirnrinde:

(a) Entspannter Zustand

(b) Unerwarteter Weckreiz

(c) Aufmerksamkeitszuwendung auf Tonreize (hell = schwache, dunkel = starke Durchblutung)

kleinen Batterie vergleichbar, jeweils auf einem ganz bestimmten Gleichspannungsniveau.

Die Größe dieses Potentials kann als ganz empfindlicher Ausdruck der jeweiligen kortikalen Aktivierung angesehen werden und man könnte mit einer ausreichenden Zahl von Elektroden Bilder rekonstruieren, die den oben beschriebenen der Hirndurchblutung gleichen dürften. Sie sind freilich ohne die geringste Belastung für die Versuchsperson erhebbar, da sie nur an die Kopfhaut angelegte Oberflächen Elektroden benötigen.

Da die Veränderungen des Gleichspannungspotentials nur einige Millionstel Volt beträgt und gerade im Bereich der Gleichspannungsmessung die sichere Feststellung solch kleiner Fluktuationen äußerst schwierig ist, waren besondere Kunstgriffe nötig, ehe man Langzeit-Gleichspannungsanalysen durchführen konnte. Die entscheidenden Schritte konnten bei uns gelöst und dadurch erstmals die psychologische Bedeutung dieser Potentialschwankungen untersucht werden. Es bestätigte sich eine schon lange geäußerte Vermutung:

Die aktuelle Informationsverarbeitungsleistung einer bestimmten Rindenzone kommt unmittelbar in der Höhe der zugehörigen Oberflächennegativität zum Ausdruck. Das Umschalten in einen Zustand höherer Erregbarkeit und Leistungsfähigkeit wird in einem schlagartigen Ansteigen der negativen Ladung in der betreffenden Zone sichtbar. Ein besonders überzeugender Nachweis dafür konnte

durch eine Versuchsanordnung geliefert werden, die bei uns von BAUER für derartige Untersuchungen entwickelt wurde. Wollen wir beispielsweise prüfen, ob die Lernfähigkeit eines Menschen ansteigt, wenn in bestimmten Regionen die Elektronegativität zunimmt, so läßt sich dies mit höchster Präzision entscheiden, wenn man den betreffenden Menschen nur in den Augenblicken lernen läßt, in denen die gewünschte Depolarisation auftritt. Wir steuern — triggern — also ein für uns interessantes Verhalten vom Gehirn der betreffenden Person selbst.

### **Das Brain Trigger Design**

Dieses „Brain Trigger Design“ wurde von uns erstmals für einfache Lernprozesse eingesetzt. Durch eine ausreichend rasche On-line-Computeranalyse wurde das Lernmaterial auf einem Fernsehmonitor immer dann dargeboten, wenn das Gehirn der lernenden Person gerade eine ausreichend große Spontannegativierung gezeigt hatte. Unter der Kontrollbedingung mußte dieselbe Person sodann ein ähnliches Material lernen, das ausschließlich nach ausreichend großen Positivierungen präsentiert wurde. Obgleich die Potentialunterschiede überaus gering waren, erbrachten schon die ersten Untersuchungen frapante Differenzen der Behaltensleistung. Die Lernleistung während kortikaler Negativierung war um rund 25% besser! Dieser Befund konnte in zahlreichen Kontrolluntersu-

chungen auch für Materialien höherer Komplexität gesichert werden und wurde auch im Tierversuch voll bestätigt. Winzigste Verschiebungen des kortikalen Gleichspannungsniveaus, die für uns völlig unbemerkt bleiben und mit keiner erlebbaren Bewußtseinsänderung einhergehen, sind von höchster Bedeutung für jedes aktuelle Leistungsverhalten (Abb. 7).

Der nächste Schritt drängt sich auf, nämlich zu untersuchen, ob es möglich ist, solche Depolarisationen (= Zustände erhöhter Leistungsfähigkeit) auch willkürlich herbeizuführen. Dazu bedarf es freilich einiger Hilfen. Da wir derartige Potentialänderungen nicht erleben können, ist es auch nicht ohne weiteres möglich, sie bewußt zu steuern. Es

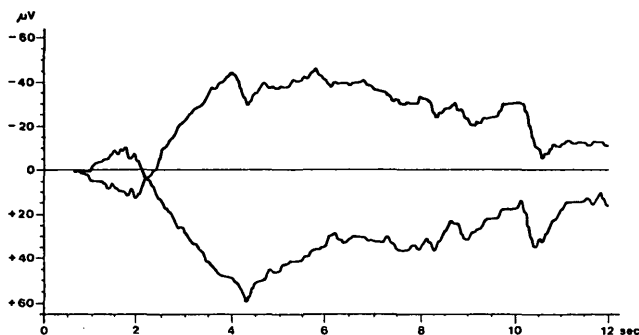


Abb. 7: Das Brain-Trigger Design:

Reizdarbietung nach kortikalen DC-Shifts.

Die Mittelung über alle Versuchsdurchgänge zeigt die spontan aufgetretenen Gleichspannungsverschiebungen in Richtung Negativität (obere Kurve) und Positivität (untere Kurve), die zur Reizsteuerung eingesetzt wurden.

gelingt dies jedoch überraschend einfach, wenn man sie der betreffenden Person wahrnehmbar macht. Übersetzen wir beispielsweise das Ausmaß des aktuellen DC-Potentials in einen Ton, der seine Höhe ändert und umso tiefer wird, je geringer die negative Gleichspannung in der betreffenden Region ist, kann durch eine derartige Rückmeldung rasch eine willkürliche Steuerung erlernt werden. Nach einem kurzen Biofeedback-Training gelingt es, willentlich Potentialverschiebungen in Richtung Negativität oder Positivität auszulösen (Abb. 8).

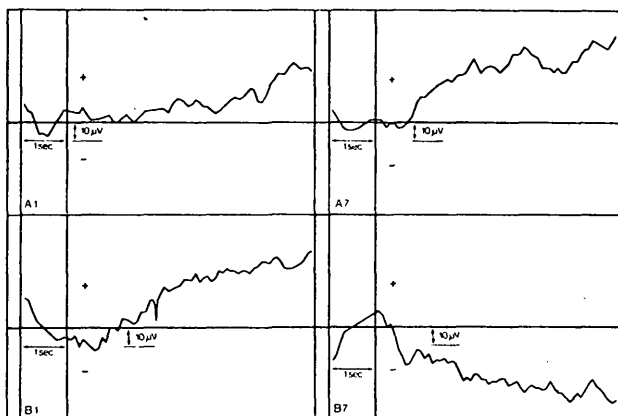


Abb. 8: Die operante Konditionierung von kortikalen DC-Shifts.

A1: Versuchsbeginn unter der Instruktion „Tonhöhe niedrig halten“

A7: Ende der Trainingsphase

B1: Beginn der Umkonditionierung „Tonhöhe hoch halten“

B7: Ende der Umkonditionierungsphase

Die Nutzenwendungen dieses bemerkenswerten Effektes liegen auf der Hand und sind lediglich dadurch eingeschränkt, daß derartige Experimente nur in einem Laboratorium mit aufwendiger elektronischer Ausstattung durchgeführt werden können. Der Schritt in die Alltagspraxis setzt voraus, daß andere Methoden gefunden und erprobt werden, die ohne derartigen apparativen Aufwand zumindest ähnliche Aktivierungseffekte auszulösen imstande sind. Die bisher von uns erarbeiteten Techniken sind gerade für handfeste praktische Anwendungen überaus vielversprechend. Es zeigte sich nämlich, daß das Anspannen und Entspannen der Skelettmuskulatur als überaus wirksames Werkzeug eingesetzt werden kann, um derartige Aktivierungsänderungen auszulösen. Freilich verzichten wir dabei auf die sensible und rasche Rückmeldung der exakten Werte. Ebenso wird, wenn wir nicht im Einzelversuch arbeiten, sondern solche Techniken in einer Gruppe anwenden, die Fehlerstreuung zunehmen. Aber es gelingt dafür, wie sich zeigen ließ, die so erarbeiteten Methoden selbst im schulischen Unterrichtsalltag einzusetzen und damit die weite Brücke zwischen theoretischer Hirnforschung und praktischer Lernpsychologie zu schlagen.

Diese Beispiele mögen zur Illustration der Feststellung ausreichen, daß unser Verständnis für das nervöse Erregungsgeschehen uns nun sogar einen objektiven Blick in das Erleben eines Menschen ermöglicht, oder aber durch gezielte Steuerung der

Aktivierung jedes Leistungsverhalten in überraschendem Ausmaß zu beeinflussen vermag.

### **Steht Psychisches außerhalb der Naturgesetze?**

Wir haben mit diesem Blick auf die biologischen Wurzeln unseres Erlebens und Verhaltens feststellen können, daß jeder Gedanke, jeder Entschluß, jedes Spontanverhalten an ganz bestimmte neuronale Strukturen gebunden ist, deren Aktivität für sein Zustandekommen verantwortlich ist. Die nervöse Erregung ist keineswegs ein rätselhafter geheimnisvoller Prozeß, sondern läßt sich vielmehr in klaren, naturwissenschaftlichen Begriffen fassen. Ihre Begleiterscheinungen können sogar durch einfache physikalische Messungen beobachtet werden und erlauben einen „objektiven Blick ins Fremdpsychische“, die Registrierung von Korrelaten des Erlebens mit ungeahnten praktischen Nutzenwendungen.

Nirgendwo finden wir einen Hinweis darauf, daß die Gesetze der Naturwissenschaft durchbrochen, die Kausalität außer Kraft gesetzt sei, oder sich ein grundsätzlicher Sprung qualitativer Art zeigt. Sicher ist die Analyse eines einfachen Geräusches und das Erleben beim Anhören einer Symphonie um gewaltige Größenordnungen voneinander entfernt. Daß aber die bei diesen beiden Wahrnehmungsprozessen beteiligten Strukturen und Gesetzmäßigkeiten grundsätzlich voneinander diffe-

rieren sollten, dafür findet sich nirgendwo der geringste Hinweis!

Ebensowenig stoßen wir auf ein Indiz für die vieldiskutierte „Willensfreiheit“. Sobald wir uns damit abfinden, daß unser aller Erleben und Verhalten an die Funktion bestimmter biologischer Strukturen gebunden ist, findet sich nicht die geringste Rechtfertigung für die Annahme, daß psychische Ereignisse außerhalb des Ursache-Wirkung-Gefüges ablaufen und aus dem großen Fluß der Naturgesetze ausbrechen können. Die lange und fruchtlose Debatte um den Begriff der „Willensfreiheit“ müssen wir durch die psychologisch weit ergiebigere Fragestellung ersetzen, unter welchen Bedingungen sich ein Mensch als frei, unter welchen hingegen er sich als unfrei erlebt.

Noch viel weniger läßt sich aus irgendeinem Faktum der psychologischen Forschung auf Existenz oder Eigenart eines göttlichen Wesens schließen, ohne dessen Mitwirkung unser Erlebnisablauf nicht denkbar wäre. Vielmehr stehen wir vor einem nahtlosen Übergang von den elementarsten Gesetzmäßigkeiten des Erregungsgeschehens bis in den Bereich komplexester psychischer Funktionen und können — ähnlich wie Genetik und Molekularbiologie — die lange Stufenleiter vom Einfachen zum Komplexen — zumindest grundsätzlich — ohne Bruchstelle durchwandern.

Die vielen offenen Fragen, wie etwa nach Ursprung und Ende unserer Existenz können von



der Psychologie nicht beantwortet, ja nicht einmal als Problem artikuliert werden. Als biologisch orientierte Naturwissenschaft ist die Psychologie dafür nicht zuständig und muß die Behandlung dieser Fragen in den Bereich des persönlichen Glaubens verweisen.

**Statement des Theologen im Anschluß an das  
Referat von Prof. Guttman  
von Prof. R. Schulte**

I. Zu Anfang ist noch einmal vor Augen zu halten, was schon betont wurde, doch offensichtlich immer wieder bedacht sein will, nämlich:

1) Eine jede Wissenschaft geht auf das Begreifen der Wirklichkeit aus, wobei zunächst keinerlei Grenzen angegeben sind, was unter „Wirklichkeit“ oder „Universum“ genau verstanden sein soll. So gesehen kann man mit Recht sagen: Eine jede Wissenschaft geht auf das Begreifen des **G a n z e n** der Wirklichkeit aus und sagt folglich in ihren Ergebnissen **e t w a s** über dieses Ganze aus. Auf Grund der materialen und formalen (methodischen) Begrenzung einer jeden Einzelwissenschaft gegenüber allen anderen ergibt sich, daß eine jede Wissenschaft „**nur**“ einiges, also nicht einfach alles über das Ganze auszusagen beabsichtigt und folglich auch nur aussagen kann.

2) Erst im Verein aller Wissenschaften kann so etwas wie eine Gesamt-Sicht der (Gesamt)Wirklichkeit gelingen. Eine jede Einzelwissenschaft bringt dazu ihren je eigenen Teil ein, der folglich per definitionem nicht von einer anderen Wissenschaft erbracht werden kann noch soll. Das gilt auch dann, wenn die Einzelwissenschaften nicht einfach als auf ein und derselben Linie des Materialen und Formalen stehend zu begreifen sind.

3) Keine Einzelwissenschaft (auch nicht die Theologie!) hat ein ihr gegebenes A-Priori außerhalb unserer Erfahrungswirklichkeit. Dabei ist freilich zu bedenken (was nicht immer geschieht), was man genau unter „Erfahrung“ und unter „Wirklichkeit“ („Universum“, das „Ganze“ usw.) zu verstehen hat. Hier erfolgen nicht selten Einschränkungen (bewußt oder unbewußt), die sich, wenn absolut gesetzt, nicht halten lassen.

4) Keine Einzelwissenschaft hat über die anderen eine absolute und uneingeschränkte „Oberaufsicht“. Vielmehr stehen alle zueinander in einem dienenden Verhältnis. Dem widerspricht nicht, daß es eine gewisse Ordnung mit Zu- und Unterordnung der vielen Einzelwissenschaften gibt.

## II. Zum heutigen Referat:

1) Ein Erstes ist vergleichsweise selbstverständlich: Die dankbare Annahme der vorgelegten Erkenntnisse dieser Einzelwissenschaft. Das sei, wenngleich

scheinbar nur nebenbei gesagt, ausdrücklich hervorgehoben (vgl. das unter I. Gesagte).

2) Einige Ausblicke und Ausweitungen dessen, was den Theologen (neben der Zurkenntnisnahme der Ergebnisse der Forschung) besonders interessieren kann und muß:

a) Ein erster Punkt, der mir wichtig scheint, soll hervorgehoben werden, wenngleich sachlich dazu hinreichend gesprochen worden ist: Die Ausführungen des Referats bestätigen wieder einmal, daß es kein Bewußtsein gibt (von dem wir wissen) ohne materielles Substrat (oder wie immer man das nennen mag). Das ist ein Moment, das auch jede (christliche!) Theologie mit Nachdruck betont und gewahrt wissen will und muß: Kein Geistiges ohne Materielles und nichts Materielles ohne Geistiges — wie immer diese beiden („Materie“ und „Geist“ oder „Materielles“ und „Geistiges“) näherhin zu definieren sein mögen. Faktisch machen wir immer diese Unterscheidung — und es stellt sich heraus, daß sie nie überwunden werden kann: Materie und Struktur; Materie und Bau- und Funktionsplan. Das eine erscheint faktisch niemals ohne das andere. Pures Materielles ohne jegliche Grundstruktur kommt genau so wenig konkret vor wie ein purer Strukturplan oder pure Struktur ohne materielles Substrat, in dem er sich verwirklicht. Aber trotzdem unterscheiden wir, und das mit Recht, weil das gerade auch unsere wissenschaft-

liche Erfahrung erzwingt. Ist das aber einmal anerkannt, dann ist jedenfalls die Frage nicht mehr prinzipiell abzuweisen, die sich auf den Grund und das Woher dieses Ineinander und Miteinander von Materie und Struktur richtet. Dabei ist jetzt nicht sogleich sprunghaft an „Gott“ gedacht. Vielmehr sei auf das verwiesen, das, zunächst vielleicht unbenannt, Materielles auf Struktur und Struktur auf Materielles hingeordnet hat und hingeordnet hält. Damit ist eine Frage angesprochen, die sich auf etwas bezieht, das die meisten Einzelwissenschaften wohl voraussetzen, nicht aber wissenschaftlich ergründen. — Das bringt mich auf ein Zweites, das hier vorliegt, ohne daß es ausdrücklich verbalisiert worden wäre (das im Referat auch nicht nötig war, jetzt aber erfolgen sollte):

b) Gemeint ist die Individuation. Vor allem bei Lebewesen, zumal bei denen, denen wir Bewußtsein, Intelligentes (oder wie wir es immer nennen wollen) zuschreiben, zeigt sich diese Besonderheit von Struktur, die auf den Erhalt eines bestimmten individuellen Ganzen ausgerichtet ist, und das sogar in der Weise, daß es viele individuelle „Exemplare“ derselben Art gibt. Gleichsam trotz vielfältigster Veränderung bleibt, über eine ziemlich definierte Zeitdauer (= Lebensdauer) erstreckt, dieses Individuum. Dieses hat offensichtlich in sich selbst die Kraft, sich als solches zu erhalten. Da stellt sich die Frage: Ist das Individuum dazu da, die Art zu erhalten, auf daß die Art sei und

erhalten bleibe, — oder ist die Art dazu da, daß diese Individuen seien, wenngleich auch in der Gemeinschaft der Art? Was ist um wessen willen da? (Eine Frage, die spätestens beim Menschen unübersehbar entscheidende Bedeutung hat.) Oder ist diese Alternative gar falsch gestellt und ist folglich nochmals nach etwas anderem zu fragen? Das eine steht freilich eindeutig fest: Das Individuum-Sein ist etwas Auffallendes, das dort und immer dort erscheint, wo Leben vorliegt. Trotz vielfältiger äußerer Bedingungen (die auch tödlich sein können) und trotz „Zufall“ besteht offensichtlich im lebendigen Individuum eine Macht zu diesem eigentümlichen Selbst-Sein, wenn auch nur auf eine wohl definierte Lebensdauer. So stellt sich berechtigt die Frage, was es damit auf sich hat. Diese Frage berührt sich mit der auch seitens Professor Ehrendorfer gestellten nach dem, was „Persönlichkeit“ ist, woher sie letztlich rührt. Auch das stellt sich als eine viele Einzelwissenschaften übersteigende, allgemein wichtige Frage dar.

c) Die allgemein, eben auch seitens vieler Einzelwissenschaften festzustellende gegenseitige Bezo-genheit von Materie und Struktur, von Materie und Bewußtsein (vgl. heutiges Referat) und die berechtigte Frage nach deren Grund und Woher deuten darauf hin, daß die anderweitig gewonnene christlich-theologische Aussage von der Einheit des Universums auf Grund des einen freien (und daher als geistig-rational anzusehenden) Ursprungs

mit den anderen Wissenschaften und ihren Erkenntnissen harmoniert; diese Aussagen werden durch jene nicht nur nicht in Frage gestellt, sondern als sich gegenseitig entsprechend erkannt. Übrigens ist diese Einheit des Universums und die prinzipielle sinnvolle Bezogenheit von Materie und Struktur trotz „gleichzeitiger“ Erfahrung des Bösen (Zerstörerischen, usw.) das als unsprünglicher Erfahrene. Daher die Möglichkeit der gemeinsamen sinnvollen Annahme: Ein Universum (eine Welt), weil ein Ursprung (Urheber) und die von ihm her begründete Einheit des Miteinander. Wie die (Natur)Wissenschaften keine prinzipielle Diskrepanz zwischen Materielem und Strukturen („Materie“ und „Geist“) anerkennen können, so widerspricht christliche (!) Theologie prinzipiell aller Abwertung des Materiellen bzw. des Geistigen: kein Materie-Monismus noch Geist-Monismus.

d) So entspricht es offensichtlich auch den naturwissenschaftlich gewonnenen Erkenntnissen, wenn der christliche Glaube (und folglich die Theologie) immer Nachdruck darauf legt(e), den Menschen gerade auch in seiner Einheit von Leiblichem und Geistigem (Leib und Seele; Leib, Seele, Geist sind die Stichworte) zu sehen und zu werten. Vor allem auch seine sog. Leiblichkeit wird gerade nicht als etwas zu Vernachlässigendes oder gar endgültig Abzulegendes erklärt. Das gehört ja u. a. zum Hauptmoment des Glaubens an die Auferweckung der Toten gerade in ihrer Leiblichkeit, also des gan-

zen Menschen, nach „Leib und Seele“. Jeder unbesonnene Dualismus ist damit abgewiesen.

3) Es sollen nun noch einige Anfragen angehängt werden, die auf ein weiterführendes interdisziplinäres Gespräch hinlenken sollen:

a) Sind aus den Ausführungen des Referates solche Schlußfolgerungen zu ziehen, daß man vom wissenschaftlich redlichen Standpunkt aus zu sagen hätte, „Denken“ sei pure Gehirntätigkeit, nämlich so, daß allein schon die durch den Physiologen und naturwissenschaftlichen Psychologen festzustellenden Gehirnfunktionen die volle und hinreichende Erfassung dessen bedeutet, was „Denken“ heißt (womit sich z. B. der Philosoph ausdrücklich befaßt)? Oder gilt, daß zwar kein „Denken“ je ohne Gehirnfunktion statthat, aber durch Gehirnfunktionen allein noch nicht voll erklärt wäre?

b) Ist mit Hilfe der im Referat beschriebenen Methoden prinzipiell angebbbar, ob und wann sog. Eingebungen, Ideen, spontan-freie Entschlüsse ... eintreten (zu denken wäre jetzt etwa an das schöpferisch-kompositorische Musik-Erfinden, an die bildende und dichterische Kunst und deren Aussagegehalte, u. ä.). Und darüber hinaus: Sind auf jenen Wegen auch Denkinhalte erfassbar, produzierbar, feststellbar, gar voraussagbar? Kann über das hinaus, daß festgestellt wird: hier findet ein Hören statt, auch festgestellt und gar vorausgesagt werden: hier wird Mozart, Beethoven gehört, und zwar mit dem von diesen Komponisten

gestalteten geistigen Inhalten? Wenn das auf dem Wege der beschriebenen Wissenschaft (allein) nicht möglich (weil methodisch nicht intendiert) ist, dann wäre jedenfalls noch eine andere Wissenschaft gefordert, die sich ausdrücklich diesen Phänomenen zuwendet. Welche wäre das? — Noch etwas spezieller: Ist das, was wir „Verantwortung“, „verantwortetes Denken und Handeln“ nennen, schon allein gehirnphysiologisch erfaßbar und erklärbar, gar voraussagbar? Kann so etwas wie „Schuld“ (nicht nur ein sog. Schuldgefühl!) auf solchem Wege erfaßt und beschrieben werden? — Alle diese und ähnliche Fragen sollen darauf hindeuten, daß offensichtlich eine einzelne Wissenschaft auch dann, wenn sie Entscheidendes zu bestimmten Phänomenen zu sagen hat, damit noch nicht schon allein alles zu sagen und zu erklären imstande ist (was übrigens entsprechend auch von der Theologie gilt!).

c) Der Psychologe spricht — wie der Name seiner Wissenschaft es hinreichend deutlich ausspricht — von der „Seele“ (psyche), vom „Seelischen“. Die Anfrage: Was genau ist damit gemeint? — wobei diese Frage deswegen gestellt werden muß, weil das Wort „Seele“ nicht nur und zuerst einmal in der Alltagssprache vorkommt und in vielfältiger (und gar nicht eindeutiger Weise) verwendet wird, sondern auch in anderen Wissenschaften einen (einigermaßen, mehr oder weniger exakt) definierten Sinn und Sachgehalt hat. Das bedeutet, anders gewen-



det: Wenngleich die Psychologie gemäß ihrem Namen von der „Seele“ handelt, gleichsam die Wissenschaft von der Seele zu sein scheint, so ist mit ihren Aussagen allein nicht schon alles zur Sprache gebracht, was sonst — in der Alltagssprache wie in den anderen, wissenschaftlich definierten Sprachen — unter „Seele“ verstanden wird. Die Folgen für die Aussagekraft und den Aussageumfang entsprechender wissenschaftlicher Ergebnisse sind offenkundig.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: [120](#)

Autor(en)/Author(s): Guttman Giselher

Artikel/Article: [Die Seele - ein Gehirnprodukt? Die biologischen Grundlagen des Psychischen. 141-189](#)