



Von der Erregungssumme zum kortikalen Gleichspannungspotential. Ein Rückblick nach 100 Jahren

Giselher Guttman

Kurzzusammenfassung

Sigmund Freuds zentrales Interesse galt, nachdem er im Jahre 1873 in Wien sein Medizinstudium aufgenommen hatte, viele Jahre hindurch der Physiologie, die er am Institut von Ernst von Brücke kennenlernen konnte. Einen nachhaltigen Einfluss übten auf ihn die Ideen von Josef Breuer aus, der das Modell einer „intrazerebralen tonischen Erregung“ entwickelt hatte. Ein Jahrzehnt hindurch waren die wissenschaftlichen Arbeiten Freuds ausschließlich der Neurohistologie und der klinischen Neurologie gewidmet.

Ganz unerwartet erscheint jedoch im Jahr 1894 die Arbeit: „Die Abwehrneurose. Versuch einer psychologischen Theorie der akquirierten Hysterie, vieler Phobien und Zwangsvorstellungen und gewisser halluzinatorischer Psychosen“. In ihr werden für die Konsequenzen von emotionalen Belastungen kühne Erklärungen gegeben, die überhaupt nicht im Geist der bisherigen Arbeiten Freuds zu liegen scheinen. Am Ende dieser Publikation macht er jedoch eine bemerkenswerte Feststellung: Er habe sich einer Hilfsvorstellung bedient, der zufolge es eine „Erregungssumme“ gäbe, die sich „... über die Gedächtnisspuren der Vorstellungen verbreitet, etwa wie eine elektrische Ladung über die Oberflächen der Körper. Man kann diese Hypothese ... in demselben Sinne verwenden, wie es die Physiker mit der Annahme des strömenden elektrischen Fluidums tun.“

Diese Annahme ist aus neuropsychologischer Sicht eine prophetische Feststellung, da wir ein Jahrhundert später tatsächlich in der Lage sind, kortikale Oberflächenpotentiale zu erfassen, die Ausdruck der lokalen Erregbarkeit und Reaktionsbereitschaft sind und der „Erregungssumme“ zu entsprechen scheinen. Die vorliegende Publikation, in der die Brücke von Freud zur modernen Neurowissenschaft geschlagen wird, ist die deutsche Fassung des Vortrags „From the Sum of Excitation to the Cortical DC Potential. Looking back a Hundred Years“, den ich seinerzeit auf einem an der Akademie der Wissenschaften veranstalteten Symposium gehalten habe. Es war dem neurologischen Frühwerk Freuds gewidmet und ist in Englischer Sprache in der Monographie „Freud and the Neurosciences“ erschienen (Guttman, 1998).

Abstract

After taking up his medical studies in 1873 in Vienna Sigmund Freud's central interest focussed on physiology which he met at the Institute of Ernst von Brücke. The ideas of Josef Breuer who had developed the model of an "intracerebral tonic arousal" had a lasting impact on Freud. For a decade Freud's scientific works were devoted exclusively on neurohistology and clinical neurology.

However, unexpectedly in 1894 he publishes „Die Abwehrneuropsychosen. Versuch einer psychologischen Theorie der akquirierten Hysterie, vieler Phobien und Zwangsvorstellungen und gewisser halluzinatorischer Psychosen.“ In this paper he gives bold explanations about the consequences of emotional stress which seem to be very different from his scientific publications so far. He closes this paper with a remarkable finding: He used a helpful idea imagining there would be a „Sum of Excitation“ that is spreading "... over memory traces of ideas, like an electrical charge over the surface of bodies. This hypothesis...can be used similar to the physicists' assumption of a flowing electric fluid. “

From a neuropsychological perspective this assumption is a prophetic statement: A century later we're actually able to find cortical surface potentials which are expressing local excitability and responsiveness and seem to correspond to the "sum of excitation". This paper is bridging Freud to modern neuroscience. It is the German version of the lecture „From the Sum of Excitation to the Cortical DC Potential. Looking back a Hundred Years“ which I held at a symposium of Austrian Academy of Sciences. It was dedicated to the early neurological work of Freud and has been published in English in the book "Freud and the Neurosciences" (Guttmann, 1998).

Keywords: Abwehrneuropsychose, Sigmund Freud, Neurosciences, Neurohistology, Cortical Surface Potentials, Sum of Excitation

Als Sigmund Freud im Jahre 1873 in Wien sein Medizinstudium aufnahm, traf er hier keineswegs auf ein geistiges Klima, von dem man Anstöße für diejenigen Ideen erwarten würde, die wir gemeinhin mit dem Begriff „Psychoanalyse“ verbinden. Musste nicht ein Forscher, der später das Phänomen der Angst deuten sollte und Erklärungen für die Verwandlung unbewältigbarer Affekte in körperliche Symptome oder für die Entstehung von Zwangshandlungen anbieten würde, von Anfang an in scharfem Kontrast zu dem damals an der Medizinischen Fakultät vorherrschenden Zeitgeist stehen? Schon ein flüchtiger Blick in Freuds Biographie zeigt, dass dies keineswegs der Fall war und er vielmehr gerade von der an einem extrem naturwissenschaftlichen Idealbild orientierten Physiologie begeistert war, das Freud am Institut von Ernst von Brücke kennenlernen konnte. Dieser war wie Emil DuBois-Reymond, Hermann von Helmholtz und Carl Ludwig einer der

Schüler von Johannes Müller gewesen, der dem Paradigmenwechsel der Deutung nervöser Erregungsprozesse als elektrische Phänomene nur zögernd folgte. Seine Schüler hatten gar einen Klub gegründet [aus ihm ging später die Berliner Physikalische Gesellschaft hervor], um Müllers vitalistischen Auffassungen naturwissenschaftliche Erklärungen entgegenhalten zu können. Und Müllers These, dass es unmöglich sein werde, die Geschwindigkeit zu bestimmen, mit der sich nervöse Erregungen fortpflanzen, wurde von seinem Schüler Helmholtz widerlegt, der erfolgreich die ersten Messungen der Leitungsgeschwindigkeit von Nerven vornehmen konnte.

Die wissenschaftstheoretische Ausrichtung der Physiologie in Wien war an der damaligen Führungswissenschaft Physik orientiert und lässt das konsequente Bemühen erkennen, für alle Phänomene geschlossene, physikalisch-

naturwissenschaftliche Erklärungsmodelle anzubieten. Stellvertretend für diese Geisteshaltung kann die Feststellung von DuBois-Reymond [1918]¹ gelten: „Brücke und ich, wir haben uns verschworen, die Wahrheit geltend zu machen, dass im Organismus keine anderen Kräfte wirksam sind, als die gemeinen physikalisch-chemischen; dass, wo diese bislang nicht zur Erklärung ausreichen, mittels der physikalisch-mathematischen Methode entweder nach ihrer Art und Weise der Wirksamkeit im konkreten Falle gesucht werden muss, oder dass neue Kräfte angenommen werden müssen, welche, von gleicher Dignität mit den physikalisch-chemischen, der Materie inhärent, stets auf nur abstoßende oder anziehende Komponenten zurückzuführen sind.“

Einen nachhaltigen Einfluss übten auf Freud offenbar die Ideen von Josef Breuer aus, einem Privatdozenten, den er in Brückes Institut als besonders konsequenten Verfechter einer physikalistischen Physiologie kennenlernen konnte. Dieser hatte ein energetisches Modell entwickelt, in welchem die Schwankungen einer Ruheenergie, einer „intrazerebralen tonischen Erregung“, für alle psychischen Aktivitäten verantwortlich sein sollten. In Breuers Beitrag in der gemeinsam mit Freud verfassten Publikation [Freud & Breuer 1895] ist zu lesen: „Wir hätten uns eine zerebrale Leitungsbahn nicht wie einen Telephondraht vorzustellen, der nur dann elektrisch erregt ist, wenn er fungieren ... soll ... besser vielleicht, denken wir an eine viel verzweigte elektrische Anlage für Beleuchtung und motorische Kraftübertragung; es wird von dieser gefordert, dass jede Lampe und jede Kraftmaschine durch einfaches Herstellen eines Kontaktes in Funktion gesetzt werden könne. Um dies zu ermöglichen ... muss auch während funktioneller Ruhe in dem ganzen Leitungsnetz

eine bestimmte Spannung bestehen, und zu diesem Behufe muss die Dynamomaschine eine bestimmte Menge von Energie aufwenden. Ebenso besteht ein gewisses Maß von Erregung in den Leitungsbahnen des ruhenden, wachen, aber arbeitsbereiten Gehirns.“

Vor diesem Hintergrund nimmt nicht Wunder, dass ein Jahrzehnt hindurch die wissenschaftlichen Arbeiten Freuds der Neurohistologie und klinischen Neurologie gewidmet waren. In seiner ersten Publikation „Über den Ursprung der hinteren Nervenwurzeln im Rückenmarke von *Ammocoetes*“ [1877] konnte er zeigen, dass die von Reissner entdeckte und bis dahin unklar gebliebene Zellpopulation dieses einfach organisierten Fisches aus der Gruppe der Rundmäuler [*Cyclostoma*] Spinalganglien waren. Im Zuge seiner neurohistologischen Arbeiten entwickelte er sogar eine neue Färbungstechnik mit Goldchlorid, die er mehrfach publizierte und als eine ganz wesentliche Entdeckung einschätzte. Noch in den 80er-Jahren stoßen wir auf klinische und neurologische Arbeiten, wie „Ein Fall von Hirnblutung mit indirekten basalen Herdsymptomen bei Skorbut“ [1884] und „Akute multiple Neuritis der spinalen und Hirnnerven“ [1886].

Unerwartet und einen (scheinbar) scharfen Bruch der Blickrichtung markierend begegnet uns 1894 die Arbeit²: „Die Abwehrneuropsychose. Versuch einer psychologischen Theorie der akquirierten Hysterie, vieler Phobien und Zwangsvorstellungen und gewisser halluzinatorischer Psychose“, erschienen im Neurologischen Zentralblatt, Nr. 10 und 11. Freud stellt in dieser Studie Überlegungen darüber an, dass bei Menschen eine „Unverträglichkeit in ihrem

¹ Zitiert nach: Bernfeld & Cassierer-Bernfeld (1988)

² Eine erste Erwähnung findet sich schon ein Jahr zuvor in der gemeinsam mit Breuer verfassten Arbeit „Über den psychischen Mechanismus hysterischer Phänomene; Vorläufige Mitteilung. G.W., Bd. 1, 81-98.

Vorstellungsleben“ auftritt, wenn „...ein Erlebnis, eine Vorstellung, Empfindung an ihr Ich herantrat, welches einen so peinlichen Affekt erweckt, daß die Person beschloß, daran zu vergessen, weil sie sich nicht die Kraft zutraute, den Widerspruch dieser unerträglichen Vorstellung mit ihrem Ich durch Denkarbeit zu lösen“. Wenn dieses Vergessen nicht gelingt, muss dieser „...der Vorstellung anhaftende Affekt ... einer anderen Verwendung zugeführt werden.“ Er kann sich in körperlichen Symptomen manifestieren, wofür Freud in dieser Arbeit den Namen „Konversion“ vorschlägt. Der von der Vorstellung abgetrennte Affekt „...hängt sich an andere, an sich nicht unverträgliche Vorstellungen an, die durch diese „falsche Verknüpfung“ zu Zwangsvorstellungen werden.“ Es kann aber schließlich auch der Fall eintreten, dass „...das Ich die unerträgliche Vorstellung mitsamt ihrem Affekt verwirft und sich so benimmt, als ob die Vorstellung nie an das Ich herangetreten wäre. Allein in dem Moment, in dem dies gelungen ist, befindet sich die Person in einer Psychose, die man wohl nur als „halluzinatorische Verworrenheit“ klassifizieren kann.“

Kühne Interpretationen, die zunächst so gar nicht in das naturwissenschaftlich-physikalistische Weltbild der Wiener Schule passen wollen, der sich Freud bisher verschrieben hatte und sich auch überhaupt nicht in die Grundhaltung der bisherigen Arbeiten einzufügen scheinen. Doch am Ende dieser Publikation macht Freud eine bemerkenswerte Feststellung. Er sagt: „Ich will endlich mit wenigen Worten der Hilfsvorstellung gedenken, deren ich mich in dieser Darstellung der Abwehrneurosen bedient habe. Es ist dies die Vorstellung, dass an den psychischen Funktionen etwas zu entscheiden ist (Affektbetrag, Erregungssumme), das alle Eigenschaften einer Quantität hat - wenngleich wir kein Mittel besitzen, dieselbe

zu messen - etwas, das der Vergrößerung, Verminderung, der Verschiebung und der Abfuhr fähig ist und sich über die Gedächtnisspuren der Vorstellungen verbreitet, etwa wie eine elektrische Ladung über die Oberflächen der Körper.

Man kann diese Hypothese [...] in demselben Sinne verwenden, wie es die Physiker mit der Annahme des strömenden elektrischen Fluidums tun. Gerechtfertigt ist sie vorläufig durch ihre Brauchbarkeit zur Zusammenfassung und Erklärung mannigfaltiger psychischer Zustände.“

Die Annahme von elektrischen Ladungen - den Begriff „Erregungssumme“ im physikalischen Sinn absolut wörtlich genommen - ausdrücklich als „Hilfsvorstellung“ deklariert, die lediglich Erklärungen ermöglicht und dazu dienen kann, bessere Vorhersagen zu treffen. Ist Freud mit dieser Als-ob-Position als Vorläufer des Konstruktivismus anzusehen? Aus neuropsychologischer Sicht ist es jedenfalls eine prophetische Feststellung. Denn rund ein Jahrhundert später sind wir tatsächlich in der Lage, kortikale Oberflächenpotentiale zu erfassen, die genau den von Freud postulierten Gesetzmäßigkeiten unterworfen zu sein scheinen und die als Ausdruck der lokalen Erregbarkeit und Reaktionsbereitschaft durchaus den Charakter einer derartigen „Erregungssumme“ zu tragen scheinen. Wir verdanken diesen Kennwert der kortikalen Aktivierung allerdings einer anderen Forschungsmotivation, nämlich dem Wunsch, über die Neurophysiologie eine „objektive Psychologie“ begründen zu können.

Schon Gustav Theodor Fechner [1889] hatte von der wunderbaren Möglichkeit geträumt, über die biologischen Grundlagen des Erlebens einen Zugang zum Psychischen zu erschließen. Dieser kühnen Idee eines „objektiven Blicks ins Erleben“, die im 19. Jahrhundert als ein utopi-

sches Konzept erscheinen musste, schien man tatsächlich in den 20er-Jahren unseres Jahrhunderts näherzukommen. Denn am 6. Juli 1924 beobachtete erstmals der Psychiater Hans Berger, dass das menschliche Gehirn schwache elektrische Spannungsschwankungen von wenigen Millionstel Volt produziert, die - mit geeigneten Verstärkern registriert - als das „Hirnstrombild“ (Elektroenzephalogramm, EEG) eines Menschen aufgezeichnet werden können. Erst 1929 wagte Berger die erste Publikation seiner Entdeckung, so unsicher war er, ob diese an der Grenze der Messbarkeit liegenden Potentiale als eine echte bioelektrische Aktivität anzusehen seien [Berger 1929]. Doch schon wenige Jahre nach dem Erscheinen dieser Arbeit begann sich Hubert Rohracher für dieses Phänomen zu interessieren, baute in Wien gemeinsam mit Ottenthal einen funktionstüchtigen Röhrenverstärker und konnte bereits in den 30er-Jahren den Nachweis führen, dass das EEG in ganz wundersamer Weise kleinste Veränderungen unserer Bewusstseinslage widerspiegelt [Rohracher 1935]:

Sind wir konzentriert (er ließ seine Versuchspersonen beispielsweise Rechenaufgaben lösen), treten kleine, rasche Wellen auf. Im Zustand gedankenleerer Entspanntheit dominieren hingegen langsamere Schwingungen, die schon Berger wegen ihrer bemerkenswerten Regelmäßigkeit als „alpha-Wellen“ bezeichnet hatte. Schläft eine Person ein, wird dies, wie Rohracher erstmals zeigen konnte, gleichfalls an einer markanten Veränderung des Elektroenzephalogramms, nämlich dem Auftreten von noch langsameren und größeren Wellen erkennbar, die sich mit der jeweiligen Schlaftiefe gesetzmäßig ändern. Somit erhalten wir objektive Daten über die Bewusstseinslage und können beispielsweise die aktuelle Schlaftiefe objektiv erfassen, die naturgemäß der Selbstbeobachtung entzogen bleibt.

Ein entscheidender Schritt in Richtung einer neuen „objektiven Psychologie“ schien gelungen und die Problematik einer ausschließlich auf Introspektion begründeten Psychologie gelöst zu sein. Und schon 1937 beginnt Rohracher den bemerkenswerten Versuch, einen Zugang zum Erleben über die hirnelektrische Ebene zu erschließen [Rohracher 1937a und b], über den er in einer rückschauenden Zusammenfassung seiner seit 1935 erschienen Arbeiten zum EEG resümiert [Rohracher 1940]: "... dabei lassen sich auch die Zusammenhänge zwischen den hirnelektrischen Erscheinungen und den psychischen Vorgängen klar und präzise darstellen." Sein zentrales Anliegen war, wie er in derselben Arbeit feststellt, die Erfassung der "... hirnelektrischen Prozesse, die dem bewussten Erleben zugrunde liegen".

Er unternahm schließlich bereits den Versuch, hirnelektrische Begleiterscheinungen von spezifischen Erlebnisinhalten sichtbar zu machen und nach den Auswirkungen eines Sinnesreizes auf das EEG zu suchen. Die Pionierarbeiten Rohrachers konnten allerdings nicht von Erfolg gekrönt sein, da es, wie wir in der Rückschau feststellen können, zur Erfassung dieser Potentiale der Computerunterstützung bedarf, die erst seit den 60er-Jahren zur Verfügung steht. Nur durch Ausmitteln einer ausreichend großen Zahl von Reizantworten wird ein Potential sichtbar, das offensichtlich in seiner Verlaufsform von den Reizeigenheiten abhängt und sich mit der Intensität so streng gesetzmäßig ändert, dass Rückschlüsse auf das Erleben des Betreffenden, also „objektive Sinnestüchtigkeitsprüfungen“ möglich werden.

Ich selbst konnte gemeinsam mit Gidon Gestring mitarbeiten, als in Wien an der damaligen HNO-Klinik von Prof. Burian erstmals die Möglichkeit genützt wurde, mit Hilfe dieser Potentiale die Hörfähigkeit eines Menschen zu überprüfen und man das erste Labor zur

EEG-Audiometrie (Computer-Audiometrie) einrichtete. In der Folgezeit konnten diese Wahrnehmungspotentiale für zahlreiche andere Anwendungen genutzt und beispielsweise schwer klassifizierbare Empfindungen wie das Schmerzerleben objektiv überprüft werden. Mich selbst hat jedoch schon damals die Frage beschäftigt, ob diese Potentiale einfach ein letztes Abbild des Reizgeschehens sind und wir gewissermaßen auf höchst umständliche Weise aus hirnelektrischen Erscheinungen rekonstruieren, was aus der Umwelt auf unsere Sinnesorgane wirkt, oder ob sie mit unserem Erleben korrespondieren, also als ein Korrelat des Psychischen angesehen werden dürfen. Ende der 60er-Jahre gelang mir schließlich der Nachweis, dass die durch akustische Reize ausgelösten Hirnrindenpotentiale tatsächlich mit dem aktuellen Erleben eines Menschen übereinstimmen, auch wenn zwischen Reiz und Erleben eine beobachtbare Diskrepanz besteht [Guttman 1968]. Bietet man nämlich eine längere Serie von objektiv gleichen Reizen, so werden gelegentlich einzelne leiser, andere hingegen lauter erlebt. Eine selektive Analyse solcher „Diskrepanzsituationen“ ließ erkennen, dass dabei die Potentiale dem Erleben entsprechen: Die hirnelektrischen Reizantworten auf die lauter wahrgenommenen Reize gleichen solchen, die von Tönen mit hoher Lautstärke evoziert werden, die leiser erlebten haben hingegen einen Verlauf, als wäre ein Reiz von geringerer Intensität dargeboten worden!

Nachdem mit der Erfassung von Erregungskorrelaten spezifischer Erlebnisinhalte der „Blick ins Erleben“ - jedenfalls in der auf Nutzanwendungen ausgerichteten Bedeutung dieser Formulierung - in den 60er-Jahren gelungen war und man auf die Bearbeitung der vielfältigen praktischen Umsetzungen überzugehen begann, wandte sich die Wiener Gruppe einem anderen hirnelektrischen Phänomen zu, das in

den folgenden 20 Jahren den Schwerpunkt unserer Arbeiten darstellen sollte: Dem kortikalen Gleichspannungspotential [DC-Potential oder Slow Potential].

Schon lange wurde nämlich vermutet, dass diese Potentiale Ausdruck der Erregbarkeit einer bestimmten Hirnrindenzone sein könnten und im Gegensatz zu den diskreten Impulsmustern, mit denen Nervenzellen Informationen zu umschriebenen, spezifischen Endstellen leiten, diese über grössere kortikale Zonen ausgedehnten Ladungsänderungen einen Analogprozess darstellen, den Pribram treffend eine „zweite Sprache“ des Gehirns nannte [Pribram 1995].

Erstmals beschrieben wurde diese batterieartige Aufladung des Gehirns allerdings bereits im vorigen Jahrhundert. So hat Caton schon 1875 über kortikale Gleichspannungspotentiale berichtet, die er mithilfe des von ihm damals verwendeten Seitengalvanometers beobachten konnte. Und noch vor der Jahrhundertwende konnten Beck und Cybulski feststellen, dass sensorische Stimulationen in den zugehörigen kortikalen Projektionsfeldern negative Potentialänderungen auslösen, die offensichtlich Ausdruck der lokalen Erregbarkeit sind. Mit den in den 30er-Jahren entwickelten Röhrenverstärkern war es allerdings lange Zeit hindurch nicht möglich, extrem langsame Spannungsänderungen zu erfassen, so dass diese allmählich in Vergessenheit gerieten.

Ihre Wiederentdeckung erfolgte erst wieder 1964 durch Grey Walter mit einer Versuchsanordnung, in welcher erstmals das hirnelektrische Korrelat einer Erwartungshaltung beobachtet werden konnte: Lässt man auf einen Ankündigungsreiz [S₁] in einem bestimmten gleichbleibenden Zeitintervall einen zweiten Reiz [„imperativer Stimulus“ - S₂] folgen, so tritt, insbesondere wenn auf letzteren aktiv

reagiert werden muss, eine langsame, zusammenhängende Negativierung auf, die Contingent Negative Variation [CNV]. Sie kann als Ausdruck einer allgemeinen Erwartungshaltung gedeutet werden und wurde daher auch als Erwartungswelle [Expectancy Wave] bezeichnet (Walter 1964).

Ihre Amplitude ist davon abhängig, wie stark die betreffende Person durch die jeweilige Reizsituation aktiviert wird, also beispielsweise von der Motivation, mit der sie sich auf die Reaktion bereitmacht bzw. wie überraschend ihr die Stimulation erscheint. Das lässt sich beispielsweise in einer als „Oddball-CNV“ bezeichneten Versuchsanordnung nachweisen, indem man zwei verschiedene Ankündigungsreize - also etwa einen hohen und einen tiefen Ton - mit unterschiedlicher Häufigkeit einsetzt. Es löst sodann der seltener [zB. in 20% aller Fälle] verwendete Signalreiz eine größere Erwartungswelle, der häufigere hingegen eine kleinere aus. In einer derartigen von uns durchgeführten Studie konnten wir nun die bemerkenswerte Tatsache feststellen, dass die Amplitudensummen der zwei entsprechenden Potentiale [also die Summe der Potentialänderungen für den S₁ mit 20% und für den mit 80% Eintrittswahrscheinlichkeit] immer denselben Gesamtwert ergeben, also gleichsam immer denselben Nettoenergiebetrag widerspiegeln [Guttman 1992]. Fast könnte man wagen, von einem hirnelektrischen Hinweis auf die Gültigkeit eines „Erhaltungssatzes der Mentalenergie“ zu sprechen, wie ihn Bernfeld in seiner „Libidometrie“ postuliert hatte (Bernfeld & Feitelberg 1930)³

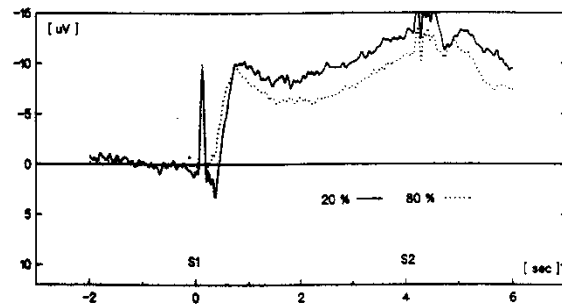


Abbildung 1. Häufigere Ankündigungssignale lösen eine wesentlich kleinere Negativierung aus als seltene [hier: Ein Oddball-Experiment mit hohen und tiefen Tönen [80% zu 20%].

Dass diese lokalen Negativierungen nicht nur Ausdruck einer erhöhten Aktivität der betreffenden Rindenzone sind, sondern auch die aktuelle Leistungsfähigkeit beeinflussen und insbesondere mit Lernprozessen in Zusammenhang stehen könnten, wurde schon lange vermutet. So hatte Rusinov bereits 1953 feststellen können, dass eine Depolarisation der Hirnrinde durch eine externe Stromquelle den Aufbau von konditionierten Reaktionen erleichtert. Der von ihm „dominanter Erregungsherd“ genannte Focus hatte die betreffende Region gleichsam in einen „lernbereiten Zustand“ versetzt.

In langjährigen Entwicklungsarbeiten ist es bei uns Herbert Bauer gelungen, neue Methoden zur Registrierung und Verstärkung solcher Potentiale zu entwickeln, mit deren Hilfe nunmehr die kortikalen Gleichspannungsänderungen durch Ableitungen von der Kopfhaut erfasst werden können. Die dabei beobachtbaren Ladungsmuster liefern ein Bild des aktuellen Erregungsniveaus der verschiedenen Rindenfelder [begegnet uns erstmals elektrophysiologisch die „tonische Erregung“?], das durch geeignete Computerdarstellungen sichtbar gemacht werden kann und üblicherweise einen dauernden Wechsel von erhöhter bzw. herabgesetzter Erregbarkeit erkennen lässt.

³ Zitiert nach: Bacher, R. (1992): Libidometrie. In: Fallend & Reichmayr (Hrsg.): Siegfried Bernfeld oder die Grenzen der Psychoanalyse

In welchem Ausmaß derartige Fluktuationen des aktuellen Erregungsniveaus die Lernleistung beeinflussen, konnte bei uns mit Hilfe einer Versuchsanordnung nachgewiesen werden, die es möglich machte, Aufgaben mit Computerhilfe genau im Augenblick einer bestimmten hirnelektrischen Veränderung, beispielsweise einer spontan auftretenden Negativierung, vorzugeben [Guttman und Bauer 1984: „Brain Trigger Design“]. Dabei zeigte sich, dass immer, wenn der Untersuchte aus einer desaktivierten Phase in einen Zustand höherer Aktivierung überwechselte, eine deutliche Verbesserung der Lernfähigkeit auftritt. Die positiven Auswirkungen auf die Behaltensleistungen waren so nachhaltig, dass daraus sogar praktische Nutzenanwendungen für die Optimierung von Lernsituationen abgeleitet werden konnten, die sich in einem Unterrichtsmodell [„Lernen unter Selbstkontrolle“ - LuS] bereits vielfach bewährt haben.

Als Beispiel dafür, mit welcher Präzision die Verteilung der DC-Potentiale die Aktivität der für eine bestimmte kognitive Leistung zuständigen Rindenfelder erkennen lässt, sei eine solche „Erregungslandkarte“ beim Lösen von Raumvorstellungsaufgaben vorgestellt, wie sie bei uns neuerdings von Oliver Vitouch [1997] erstellt wurde. Den Probanden wurde am Bildschirm die Ansichten von jeweils zwei Würfeln mit unterschiedlich bemalten Seitenflächen geboten, wobei die Aufgabe darin bestand, zu entscheiden, ob der rechte Würfel eine Darstellung des linken in anderer Ansicht sein könnte - was in einigen Fällen der Fall war. Die Personen mussten also zur Lösung dieser Aufgaben gleichsam in der Vorstellung eine Drehung vornehmen [„Mentale Rotation“]. Es zeigte sich, dass im Augenblick der Problemlösung [neben einer starken Aktivierung der Sehrinde, die Ausdruck der Betrachtung der gerade vorgegebenen Würfel war] in der rechten Hemisphäre

in genau dem Bereich eine deutliche Negativierung auftrat, der für die Fähigkeit der Raumorientierung zuständig ist. Bei Personen, die in einem vorher vorgegebenen Raumvorstellungstest schlechtere Leistungen erzielt hatten, für die diese Aufgaben also schwieriger waren, traten wesentlich ausgeprägtere Negativierungen auf als bei Personen mit einem hohen Leistungsniveau. Das DC-Potential spiegelt also gleichsam das Ausmaß wieder, in dem die Erregungssumme entsprechend dem Grad der mentalen Anstrengung zugenommen hatte.

Eine völlig andere Erregungsverteilung begegnet uns hingegen, wenn dieselben Personen sprachliche Aufgaben lösen mussten, in denen die Richtigkeit von Aussagen folgender Art zu beurteilen war:

Vogel : Nest = Mensch : Wohnung.

In der (ausschließlich an Rechtshändern durchgeführten) Untersuchung zeigte sich bei diesen Aufgaben eine eng begrenzte linkshemisphärische Aufladung in genau der Region, in welcher das Sprachzentrum liegt.

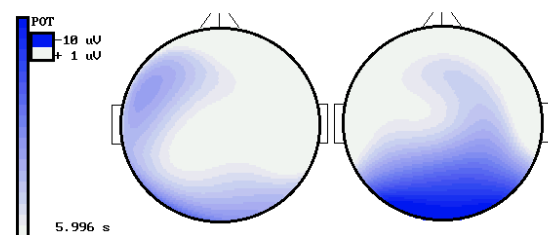


Abbildung 2: Die Verteilung der Gleichspannungspotentiale beim Lösen von sprachlichen Aufgaben (linkes Bild) und beim Bearbeiten von Problemen, die Raumvorstellung erfordern (rechtes Bild). Die dunklen Zonen zeigen Bereiche erhöhter, die hellen solche herabgesetzter Aktivität an.

Als eine weitere Illustration für die mögliche Entsprechung von DC-Potentialen und der Freudschen „Erregungssumme“ seien zwei

unserer Untersuchungen über „Veränderte Bewusstseinszustände“ herausgegriffen, die als besonders überzeugende Beispiele für die Einsatzmöglichkeiten dieses „Zugangs zum Psychischen“ anzusehen sind, da eine Versuchsperson über die dabei auftretenden psychischen Veränderungen naturgemäß keine aktuellen Erlebnisberichte abgeben kann.

Psychophysiologische Studien der Hypnose haben jahrzehntelang durch ganz bemerkenswerte Diskrepanzen zwischen den Beobachtungen auf der biologischen Ebene und dem Erleben beeindruckt. Bei höchst dramatischen Veränderungen der Wahrnehmung [beispielsweise Schmerzunempfindlichkeit, die sogar im Zuge von chirurgischen Eingriffen zur Analgesierung eingesetzt werden konnte] zeigten sich nur kaum interpretierbare Veränderungen im EEG. Ich selbst habe gemeinsam mit Barolin und Gestring eine der ersten Studien über akustisch evozierte Potentiale unter Hypnose durchgeführt und - damals zu unserer Enttäuschung, später in zahlreichen anderen Studien bestätigt - feststellen müssen, dass bei hypnotisch induzierter Schwerhörigkeit zwar deutliche Veränderungen der Wahrnehmungsschwellen auftreten, die Amplituden der evozierten Potentiale aber völlig unverändert bleiben.

Erst in jüngster Zeit haben wir durch DC-Studien eine erste Erklärung für all diese Paradoxien liefern können. Wir haben in einer dieser Arbeiten erstmals eine feinere Differenzierung des Zustandes Hypnose vorgenommen und die Probanden zunächst in eine entspannte Urlaubs-Situation versetzt. Im folgenden Versuchsabschnitt wurde sodann eine Situation suggeriert, in welcher motorische Aktivitäten im Vordergrund standen: Die Probanden wurden in eine Verfolgungssituation versetzt, der sie sich - einem Alptraum gleich - mit immer langsamer und mühsamer werdenden Bewe-

gungen zu entziehen suchen sollten. Nach einiger Zeit wurde sodann diese negative Vorstellung aufgelöst und die Personen in einen entspannten Ruhezustand zurückversetzt.

Die DC-Analyse lieferte genau ein der Erwartung entsprechendes Bild. Während der entspannte Ausgangszustand ebenso wie die Endphase eine relativ gleichförmige, mäßig hohe Aktivierung der gesamten Endhirnrinde erkennen ließ, zeigten sich in der Hypnosephase mit der Bewegungssuggestion lediglich deutlich abgehobene lokale Negativierungen in genau den Zonen, in denen man bei den genannten Vorstellungsbildern eine erhöhte Erregung erwarten würde, nämlich in dem für optische Aktivitäten zuständigen Occipitalbereich und in den motorischen Zonen des Frontalhirns. Eine solche „Spot-Aktivierung“ ist offenbar durch Hypnose gezielt auslösbar, dürfte aber im Grunde den Regelfall der kortikalen Aktivitätssteuerung darstellen, durch den in stetem Ein- und Ausblenden von Hirnrindenfeldern die aktuelle Informationsverarbeitung - und damit die Auswahl des aktuell Bewussten - gelenkt wird.

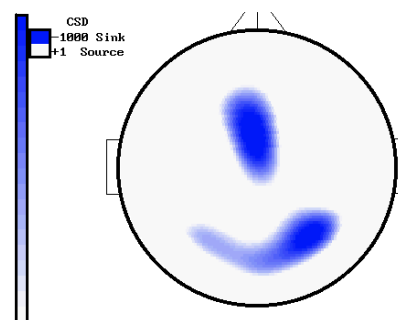


Abbildung 3. Während der Verfolgungs-Suggestion treten zwei scharf begrenzte Erregungsherde in der occipitalen und in der motorischen Region auf.

In der zweiten Studie, die hier zitiert werden soll, wurde ein Bewusstseinszustand ausge-

wählt, in dem eine ganz besonders extreme Veränderung der Erregungssumme zu erwarten war. Wir konnten nämlich eine Gruppe von Personen mit langjähriger Erfahrung in Zen-Meditation untersuchen, die bereit waren, im Labor zu meditieren. Die Zen-Meditation bot sich als besonders interessante Bewusstseinslage an, da es ihr erklärtes Ziel ist, im Zustand aufrechterhaltener, konzentrierter Wachheit eine völlige Gedankenleere herbeizuführen. Tatsächlich zeigte sich, dass sogar unter den ungewohnten Bedingungen kurz nach Beginn der Meditation eine globale und konstant bleibende Desaktivierung der gesamten Endhirnrinde auftrat, wie sie in diesem Ausmaß sonst kaum zu beobachten ist. Diese totale Ladungsreduktion entspricht genau dem vom Zen gewünschten Zustand einer völligen Gedankenentleerung - Wachheit ohne Inhalt, extreme Verminderung der Erregungssumme.

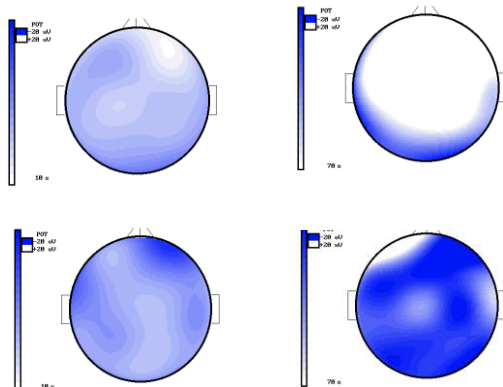


Abbildung 4: Obere Reihe: Die Verteilung des Gleichspannungspotentials zu Beginn einer Zen-Meditation (linkes Bild) und nach 70 Sekunden (rechtes Bild). Untere Reihe: Die analogen Veränderungen beim Anhören von „Entspannungsmusik, die offensichtlich keine Desaktivierung bewirkt. Die dunklen Felder zeigen wieder die aktivierten, die hellen die desaktivierten Regionen an.

Bemerkenswert war das Ergebnis von Registrierungen an einer Kontrollgruppe, die keine Erfahrung mit meditativen Techniken hatte. Ihr

wurde „Entspannungsmusik“ vorgespielt, wie sie neuerdings vielfach angeboten wird und erlebnismäßig durchaus einen Zustand kontemplativer Ruhe auszulösen scheint. Bemerkenswerterweise lässt die DC-Potentialverteilung erkennen, dass keineswegs eine Desaktivierung, sondern vielmehr eine beachtliche kortikale Negativierung auftrat. Akustische Stimulation induziert Aktivierung und ist jedenfalls weit entfernt von der in der Zen-Meditation erreichten mentalen Leerheit.

Die elektrische Komponente ist zweifellos nur ein Aspekt, in dem die lokale kortikale Aktivierung zum Ausdruck kommt. Ein entscheidender Vorzug ihrer Beobachtung ist freilich, dass sich auch sehr rasche Veränderungen der Potentialverteilung beobachten lassen, die innerhalb von Sekundenbruchteilen auftreten, während andere bildgebende Verfahren von unbestritten großer Bedeutung wie etwa die Positronen-Emissions-Tomographie [PET] nur den Funktionszustand des Gehirns über einen längeren Zeitraum hinweg erkennen lassen. Auch sind diese DC-Registrierungen nicht, wie andere bildgebende Verfahren, auf das Labor beschränkt. Im Rahmen einer Feldstudie haben wir vor kurzem die Registriergeräte sogar in einem Rallye-Auto installieren und - mit bemerkenswerten Resultaten – die hirnelektrischen Veränderungen von Lenkern und Beifahrern während des Durchfahrens eines Hochgeschwindigkeitskurses studieren können.

Aus neuropsychologischer Sicht dürfen wir somit nach mehr als 100 Jahren die von Freud postulierte „Hilfsvorstellung“ einer „Erregungssumme“, die „...der Vergrößerung, Verminderung, der Verschiebung und der Abfuhr fähig ist und sich über die Gedächtnisspuren der Vorstellungen verbreitet, etwa wie eine elektrische Ladung über die Oberflächen der Körper“ als ganz wunderbar bestätigt ansehen, wobei der Gebrauch von physikalischen „Hilfsvorstellun-

gen“ dieser Art zweifellos auch das spätere Denken von Sigmund Freud in hohem Mass bestimmt zu haben scheint.

Literaturverzeichnis

Bacher, R. (1992). Libidometrie. In: Fallend & Reichmayr (Hrsg.): Siegfried Bernfeld oder die Grenzen der Psychoanalyse. Basel, Stroemfeld/Nexus.

Barolin, G., Gidon G. & Giseler G. (1968). The effects of hypnotic suggestions on the acoustic evoked potential. EEG clin. Neurophysiol., 24.

Bauer, H., Ch. Rebert, Ch. Korunka & M. Leodolter (1997). Rare events and the CNV - the oddball CNV. International Journal of Psychophysiology, 13, 51-58.

Bauer, H. (1998). Slow potential topography. Behavior Research Methods, Instruments, & Computers., 30 (1), 20-33.

Berger, H. (1929). Über das Elektroencephalogramm des Menschen. 1. Mitteilung. Archiv Psychiatrisches Nervenkrankenhaus, 87: 527-570.

Bernfeld, I. S. & Cassierer Bernfeld, S. (1988). Bausteine der Freud-Biographik. Frankfurt am Main, Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft.

DuBois-Reymond, E. (1918). Jugendbriefe an Eduard Hallmann. (Hrsg. E. DuBois-Reymond). Berlin.

Fechner, G. T. (1889). Elemente der Psychophysik. Leipzig: Breitkopf & Härtel.

Freud, S. (1877). Über den Ursprung der hinteren Nervenwurzeln im Rückenmarke von Amocoetes (Petromyzon Planeri) S.B. Akad. Wiss. Wien (Math.-Naturwiss. Kl.), III. Abt., Bd. 75, 15-27.

Freud, S. (1884). Ein Fall von Hirnblutung mit indirekten basalen Herdsymptomen bei Skorb. Wien. Med. Wschr., Bd. 34, Nr.9, 244-246, und Nr.10, 276-279.

Freud, S. (1886). Akute multiple Neuritis der spinalen und Hirnnerven. Wien. Med. Wschr., Bd. 36, 168-172.

Freud, S. & Breuer, J (1893). „Über den psychischen Mechanismus hysterischer Phänomene; Vorläufige Mitteilung. G.W., Bd. 1, 81-98.

Freud, S. & Breuer, J (1895). Studien über Hysterie. Wien. [Vollständige Neuausgabe als Taschenbuchausgabe, Frankfurt a.M., 1979, Bd. 1, 77-312).

Freud, S. (1894). „Die Abwehrneuropsychosen. Versuch einer psychologischen Theorie der akquirierten Hysterie, vieler Phobien und Zwangsvorstellungen und gewisser halluzinatorischer Psychosen“. Neurologisches Zentralblatt, Nr. 10 und 11.

Guttman, G. (1968). Evoziertes Potential und Erleben. In M. Irle (Hrsg.), Bericht des 26. Kongresses der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, S. 189-195. Göttingen: Hogrefe.

Guttman, G. & Bauer, H. (1982). Learning and information processing in dependence on cortical DC-potentials. In: R. Sinz & H. Rosenzweig (Hrsg.). Psychophysiology 1980. Jena: Fischer & Elsevier.

Guttman, G. & Bauer, H. (1984). The Brain Trigger Design: A powerful tool to investigate Brain-Behavior-Relations. In R. Karrer, J. Cohen & P. Tueting (Eds.), Brain and Information: Event Related Potentials. Annals of the New York Academy of Sciences, 425, 671-675. New York: New York Academy of Sciences.

Guttman, G. (1992). Zur Psychophysiology des Bewußtseins. In: G. Guttman, und G. Lan-

ger, (Hrsg.) Das Bewußtsein. Multidimensionale Entwürfe. Wien: Springer.

Guttman, G. (1995). Psychophysiology of hypnosis and other altered states of consciousness. In: Hypnosis connecting disciplines. Wien: Med.Pharm.Verlagsgesellschaft.

Karl H. Pribram: Languages of the brain. Experimental paradoxes and principles in neuropsychology. 1971, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Rohracher, H. (1935). Die gehirnelektrischen Erscheinungen bei geistiger Arbeit. Zeitschrift für Psychologie, 136, 308-324.

Rohracher, H. (1937a). Die gehirnelektrischen Erscheinungen bei Sinnesreizen. Zeitschrift für Psychologie, 140, 274-308.

Rohracher, H. (1937b). Die gehirnelektrischen Erscheinungen bei verschiedenen psychischen Vorgängen. Pontificia Academia Scientiarum „Commentationes“, 1, 89-133.

Rohracher, H. (1940). Die elektrischen Vorgänge im menschlichen Gehirn. Zeitschrift für Psychologie, 149, 209-279.

Vitouch, O., Bauer, H., Gittler, G., Leodolter, M. & Leodolter, U. (1997). Cortical activity of good and poor special test-performers during spatial and verbal processing studied with Slow Potential Topography. International Journal of Psychophysiology, 27, 183-199.

Gray, W., Cooper, R., Aldridge, V. J., McCallum, W. C. & Winter, A. L. (1964). Contingent negative variation: an electric sign of sensorimotor association and expectancy. Nature, 203: 380-384.

Autor:

Univ. Prof. Dr. Giselher Guttman

giselher.guttman@sfu.ac.at