

Experimentelle Methoden der Neurowissenschaft

(Paul Natterer)

Hier ein Überblick über die Methoden, durch welche unser Wissen über den Aufbau des Neuronenuniversums und seine Funktionsweise gewonnen wurde. Sie lassen sich in elektrische, magnetische und radiologische Verfahren unterscheiden. Die hauptsächlichsten Methoden sind:

(1) Elektrische Methoden

Elektrische Methoden erlauben eine präzise zeitliche Datierung und Unterscheidung. Im Einzelnen zählt dazu:

(1.1) Das **Elektroenzephalogramm** (EEG): mittels Elektroden wird ein unspezifisches Oberflächenhirnstrombild erzeugt. Gemessen werden dabei die elektrischen Spannungsschwankungen der die Großhirnrinde wesentlich bildenden Pyramidenzellen. Deren Aktivität wird durch den inneren Gehirnkern des Thalamus erzeugt und bestimmt (= Schrittmacher und Tor des Neokortex). Dabei ist erst die gemeinsame, geordnete Aktivität von ca. 10000 Zellen aufwärts (also sog. funktionale Module von ca. 2-3 mm Durchmesser) messbar. Die Ordnungsfähigkeit und Kooperation der EEG-Wellen der Module hängt andererseits von deren senkrechter Ausrichtung und damit von der Ordnung des zellarchitektonischen Aufbaues des Neokortex ab. Die Dendriten und die unspezifischen langen Fasern (Afferenzen) der Pyramidenzellen liegen nämlich alle oben, unterhalb der Schädeldecke, während die Zellkörper und kurze benachbarte Afferenzen die unteren Schichten bilden. Bei Reizung der oben liegenden (apikalen) Dendriten entsteht dort wie bei einer Batterie mit Plus- und Minuspol ein dem Potenzial im unteren Zellkörper (Soma) entgegengesetztes elektrisches Potenzial – und zwar synchron und koordiniert in allen Neuronen eines Moduls.

Die Frequenzen (0-100 Hz), Amplituden (1-200 μ V) und Phasenverschiebungen des EEGs müssen dennoch aufwändig verstärkt und aus technischem (unabgeschirmte elektrische Leitungen: 50 Hz) und biologischem (elektrischer Hautwiderstand) Störuschen herausgefiltert und mathematisch analysiert werden (= Neurometrie per Fourieranalyse oder durch chaostheoretische Hirnkarten). Die wichtigsten EEG-Rhythmen sind: **Alpha-Rhythmus** (8-13 Hz) in sensorischen Regionen, typisch für den ruhigen Wachzustand; **Beta-Rhythmus** (13-30 Hz) in sensorischen Arealen, bei Aufmerksamkeit und Konzentration; **Gamma-Rhythmus** (< 30 Hz und kleine Amplituden) in lokalen sensorischen Arealen bei Aktivität; **Sensomotorischer Rhythmus** (SMR) (12-15 Hz) in

senso-motorischen Arealen, typisch für oberflächlichen Schlaf mit Verhaltenshemmung; **Theta-Rythmus** (4-8 Hz) im Traumschlaf (REM-Schlaf); **Delta-Rythmus** (> 4 Hz) im Tiefschlaf (SWS-Schlaf).

(1.2) Das **Ereigniskorrelierte Hirnpotential** (EKP): mittels Elektroden wird ein Oberflächenhirnstrombild auf kurze sensorische oder motorische Reize oder psychische Ereignisse erzeugt. Die Wellenamplitude des EKP ist dabei geringer als des Spontan-EEGs und muss daher aufwändig verstärkt und herausgefiltert werden. Es lässt sich dann eine Abfolge charakteristischer Komponenten analysieren, die unterschiedliche neurobiologische und psychologische Vorgänge abbilden und den Ablauf der Informationsverarbeitung im Gehirn zeitgetreu wiedergeben.

Von 0–100 Millisekunden betreffen die Amplitudenänderungen allein physikalische Reiz-Reaktions-Muster, die bei 1–10 Millisekunden als Hirnstammpotential entstehen, bei 10 – 100 Millisekunden dann in den jeweiligen Zentren der Großhirnrinde. Alle Komponenten ab 100 Millisekunden sind mitbestimmt durch innere psychische Prozesse. Bei 100 Millisekunden erfolgt die Kodierung des Reizes, bei 200 Millisekunden der Abgleich mit gespeicherten Reizmustern, bei 300 Millisekunden die Speicherung und Korrektur des gespeicherten Modells. Alle Verarbeitungsschritte von 0–300 Millisekunden sind vorbewusst. Ab 300 Millisekunden spiegelt sich die Weiterverarbeitung in langsamen Hirnstrom-Potentialen (LP). Diese sind eine gleichzeitige, global ausgedehnte Aktivität des Gehirns oder Neuronenuniversums. Sie sind Basis und Energiequelle für das bewusste, zielgerichtete, geplante Verhalten.

(1.3) Die **Mikroelektrode** (invasives Verfahren), durch die spezifische Amplitudenstärken und Frequenzmuster von Aktionspotentialen (elektrischen Entladungen) von einzelnen Nervenzellen bei genau bestimmten Reizen abgeleitet werden. Man kann so feststellen, welche besonderen Leistungen diese Nervenzellen erbringen.

(2) Magnetische Verfahren

Magnetische Verfahren erlauben (wie auch radiologische Verfahren) die präzise Lokalisierung.

(2.1) **Magnetoencephalographie** (MEG): Oberflächen- und Tiefenanalyse der Gehirnaktivität bis zu einer Auflösung von 2 mm durch Messung des sogenannten Biomagnetismus, also des magnetischen Verhaltens der körpereigenen Atome und Moleküle.

(2.2) Die **Kernspintomographie** oder **Magnetresonanztomographie** (MRT, engl: MRI, *Magnetic resonance imaging*), welche dreidimensionale Landkarten (Topographien) des Neuronenuniversums oder Zentralen Nervensystems liefert. Das sog. funktionelle MRT misst auch Vorgänge (Prozesse). In diesen Karten lassen sich etwa für bestimmte Wahrnehmungs- oder Denkleistungen die

zugeordneten Orte neuraler Aktivität ausmachen und natürlich auch Störungen feststellen. Dabei wird z.B. Geschwindigkeit und Volumen der regionalen Durchblutung mittels der Emissionsspektren von im Blut gebundenen Wasserstoff- oder Phosphoratomen (Protonen) bestimmt, deren Drehimpuls (Spin) zuerst magnetisch angeregt und gleichgerichtet wurde. Die Dichte und Abklingzeiten der Atome hat spezifische örtliche Charakteristiken, welche eine Lokalisierung ermöglichen.

(2.3) Die **Magnetresonanz-Spektroskopie** (MRS) ist eine Verfeinerung des MRI, welche den Einfluss der Elektronenhüllen der Atome einbezieht und so chemische Zusammensetzungen und Stoffwechselfvorgänge zu identifizieren erlaubt.

(3) Radiologische Methoden

(3.1) Das **rCBF-Verfahren** zur Messung verstärkter regionaler Gehirndurchblutung mittels radioaktiv markierter Injektionen in die Blutbahn. Deren Verteilung und Konzentration kann dann radiologisch festgestellt werden.

(3.2) Die **Positronen-Emissions-Tomographie** (PET), welche bis zu einer Auflösung von 4-8 mm die Lokalisierung von Gehirnfunktionen bei spezifischen Reizen anhand deren intensiviertem Stoffwechsel ermöglicht. Man misst dazu die Emissionsstrahlung radioaktiv markierter Glukose (bzw. genauer: Sauerstoff, Kohlenstoff oder Stickstoff). Glukose ist der wichtigste Energielieferant des Gehirns und wird dort verstärkt angelagert und verbraucht, wo gerade besondere Leistungen abgefragt werden.

(3.3) Die **Röntgencomputertomographie** (CAT-Scan) ist eine spezielle Röntgendiagnostik des Gehirns mittels Serien von Schnittebenen.

Zu diesen Methoden tritt die *klinische Neuropsychologie*, d.h. die Untersuchung von Gehirnverletzungen.