

# Seminar „Der künstliche Mensch“

## **Steuerung von Prothesen**

Jens Schönfeld, Matthias Gafert

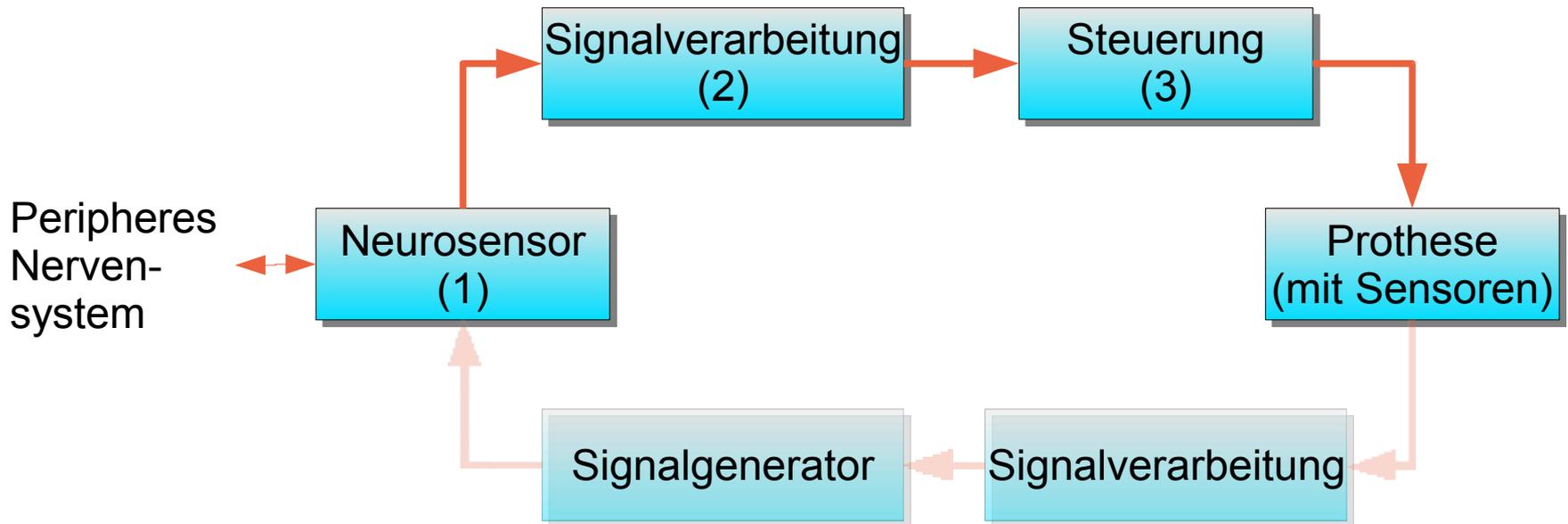
Freie Universität Berlin, Institut für Informatik

- INTER-Projekt
- Brain-Computer Interface (BCI)

## INTER-Projekt (**I**ntelligent **N**eural **I**nterface)

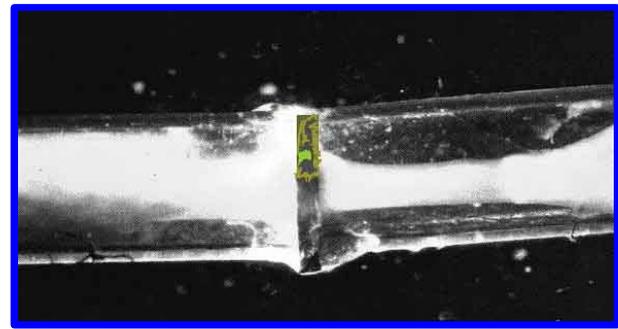
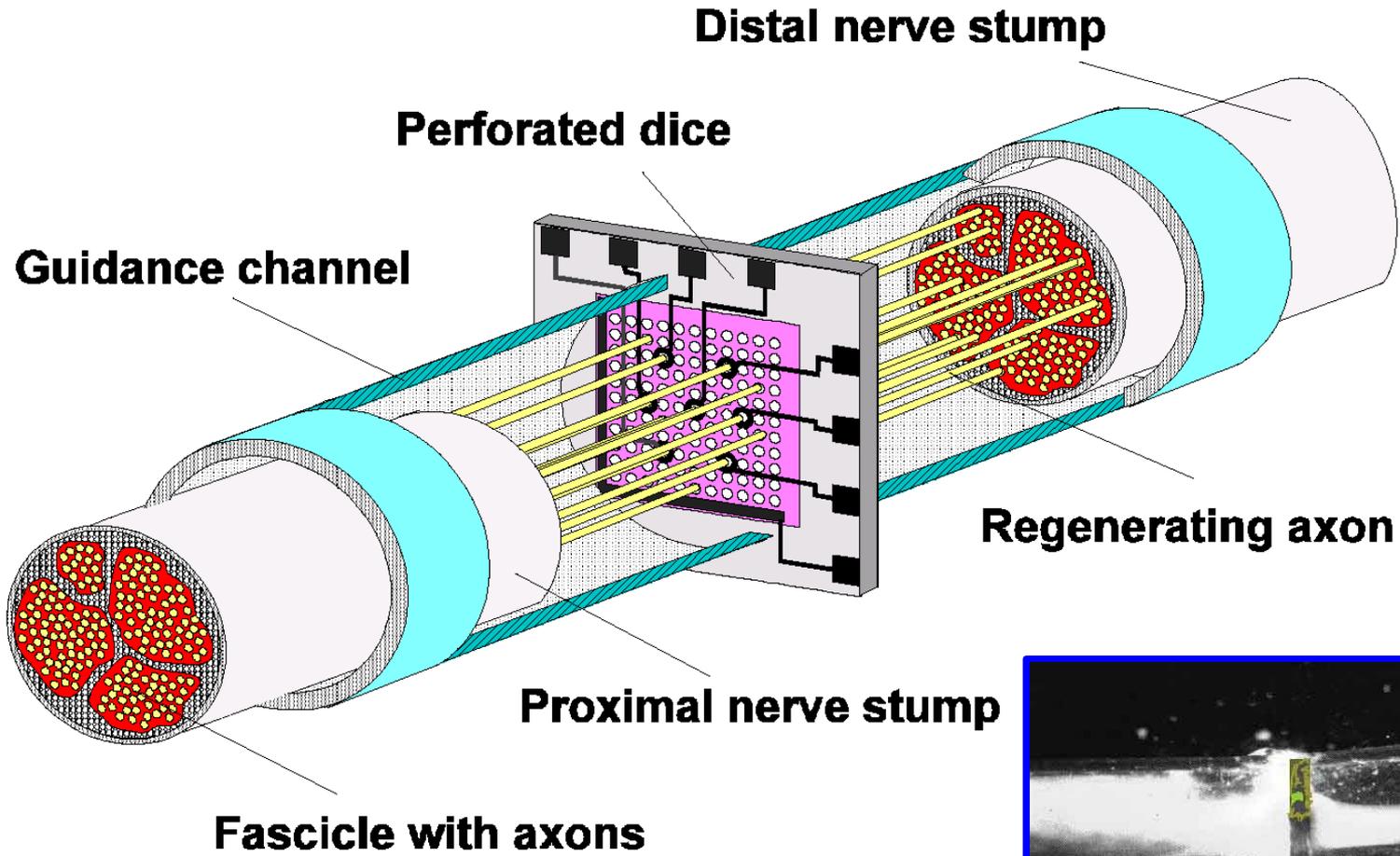
- Schematischer Aufbau
- Umsetzung
  1. Aufnahme der Nervensignale
  2. Filterung und Aufbereitung
  3. Steuerung
- Brain-Computer Interface (BCI)
  - Geschichtliches
  - Umsetzung
    1. Datenaufnahme
    2. Datenverarbeitung
    3. Steuerung
  - Abschlussbemerkung

# Steuerungskreislauf (Schematisch)



- Neurosensor als Verbindung zum peripheren Nervensystem (PNS)
  - Ableitung selektiv für die betroffene Extremität
  - Kontaktierung einzelner Axone einer Nervenfasern
- Weiterverarbeitung der Signale
  - Klassifikation durch künstliche neuronale Netze (ANN)
- Steuerung der Prothese
  - Zuständig für die (sinnvolle) Interpretation der Signale

# (1) Neurosensor



# (1) Neurosensor - Funktionsweise

- Regenerativer Ansatz
  - Nervenbündel im PNS wird zertrennt
  - Bündel-Enden wachsen durch perforierten Siliziumchip mit aufgebrachtene Ringelektroden
  - Einige Axone haben Kontakt zu Elektroden
  - Elektroden können Nervensignale aufnehmen
- Vorverarbeitung der Signale
  - Verstärkung
  - Entfernen von Rauschen
  - Trennung einzelner Komponenten

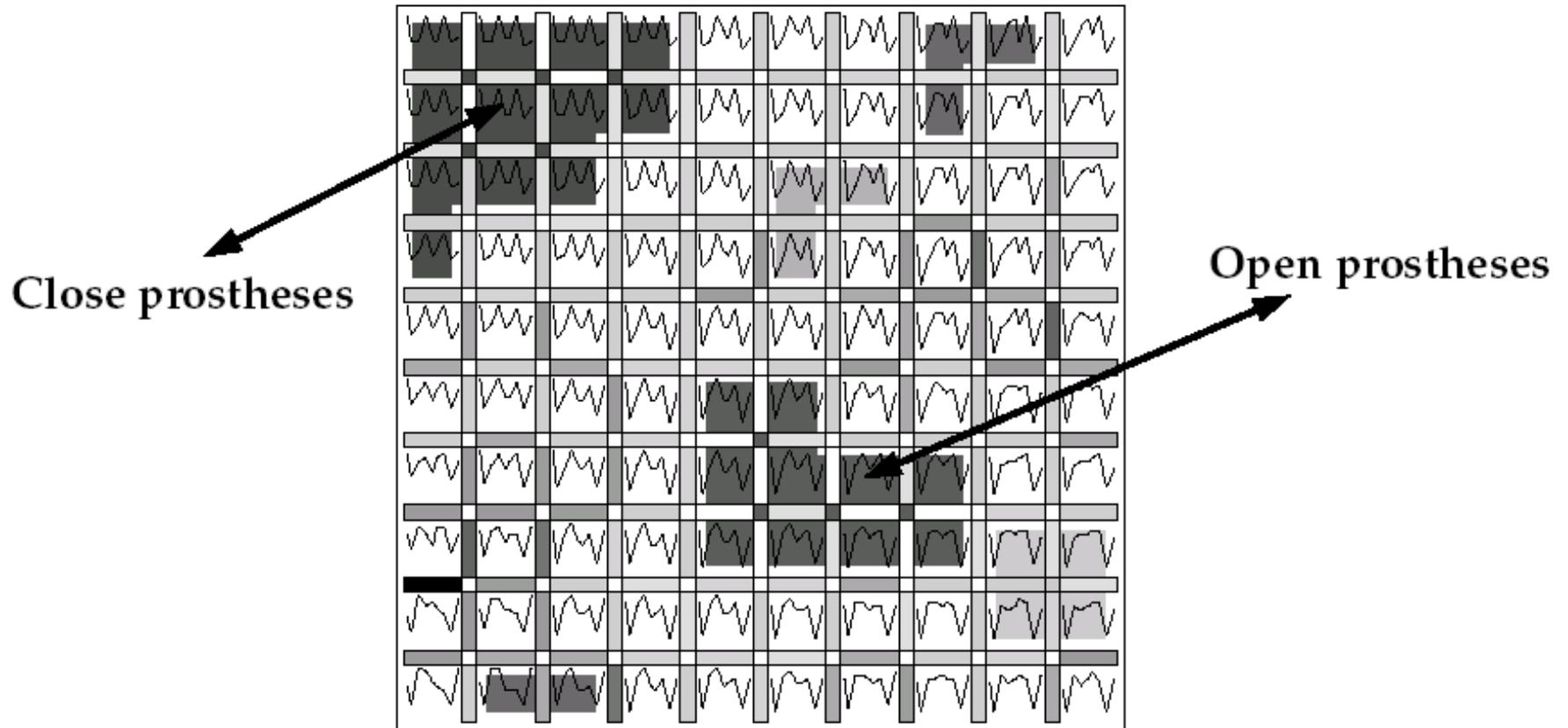
# (1) Neurosensor - Hindernisse

- Festlegung der Toleranzschwelle für Signale:
  - Amplitude überschreitet Schwellwert
  - Typische Signalform (+|-|+) in weniger als 6ms
- Unterscheidung von motorischen und sensorischen Signalen
  - Ansatz: Erstellen einer Blacklist für sensorische Signale durch isolierte Stimulation
- Überlagerungen
  - Axone beeinflussen sich innerhalb des Nervenbündels gegenseitig
  - Auf eine Elektrode treffen zwischen 5 und 15 Axone
  - Auflösung durch *Independent Component Analysis*

## (2) Signalverarbeitung

- Jedes Signal wird durch 6-Tupel (Vektor) charakterisiert:
  - Jede Spitze des Signals bestimmt durch *Fläche, Breite, Höhe*
  - Signal hat zwei Spitzen
- Verwendung einer selbstorganisierenden Karte (SOM)
  - Grund: Organisation der Signale unbekannt
  - 2-dimensional wegen Topologie-Analogie zum Gehirn
  - Ordnet Signale der Axone in Cluster
  - Jedes Cluster äquivalent zu einer willkürlichen Aktion
  - Unüberwachtes lernen ermöglicht Anpassung an zeitliche Veränderung (Axone sterben ab, neue wachsen nach)

# Trainiertes SOM



## (3) Steuerung

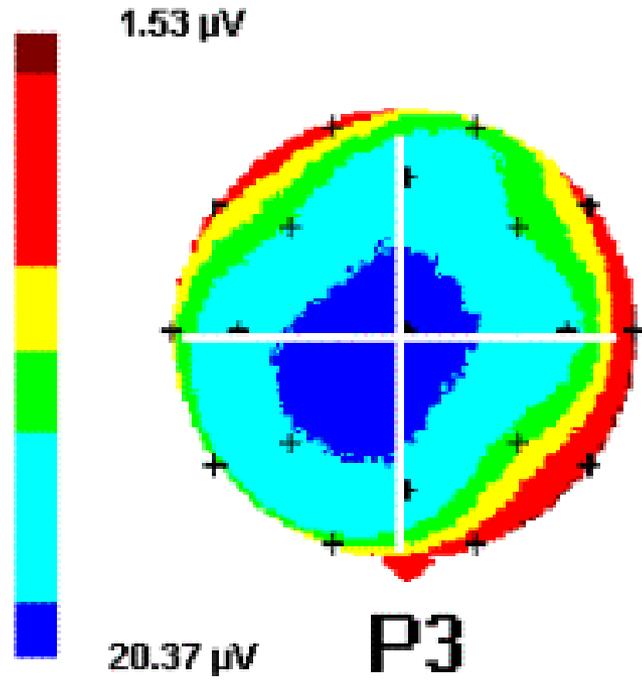
- Aktionen der Prothese abhängig von bestimmten Signaleigenschaften
  - Aktion selbst bestimmt durch Klassifikation
  - Geschwindigkeit bestimmt durch Signalfrequenz
    - Einzelne spontane Signale sollen keine Aktion auslösen können
    - Auf Signalfolge wird (z.B.) eine Integrationsfunktion angewandt
    - Erhaltener „Mittelwert“ direkt z.B. als Motorsteuerung verwendbar

- Was ist ein BCI?
  - Brain-Computer Interface: Schnittstelle zwischen Gehirn und Computer
  - Hirnströmemeasurement mit EEG
  - Auswertung mit Mustererkennung
  - Umwandlung in Steuersignale
  - gedankliche Steuerung maschineller Vorgänge
- Wofür ist es gut?
  - Steuerung von Prothesen
  - Steuerung von Rollstühlen
  - Steuerung von Buchstabiermaschinen (Lock-in Syndrom)

- Vorgänger: Brain Response Interface
  - Bildschirm mit 8x8-Matrix
  - Symbolauswahl durch fokussieren
  - 10 bis 12 Wörter pro Minute
  - Nachteil: intakter Weg zum visuellen Kortex nötig
- erste BCIs
  - ausgeführte Motorik nötig (sprich: Muskelbewegung)
- später
  - Planen der Aktion reicht aus um Hirnaktivitäten zu erzeugen
  - => Aktion auszuführen wurde überflüssig
  - zusätzlich: kognitive Signale leichter zu dekodieren

# (1) Datenaufnahme

- Aktivität im Gehirn (Reiz, Vorstellung)
  - => Aktivierung des motorischen Kortex
  - => schwache Spannungsschwankungen auf Kopfhaut
  - Spannungsschwankungen messbar (Kopfhaut oder Kortex)
- Problem: Spannung sehr schwach

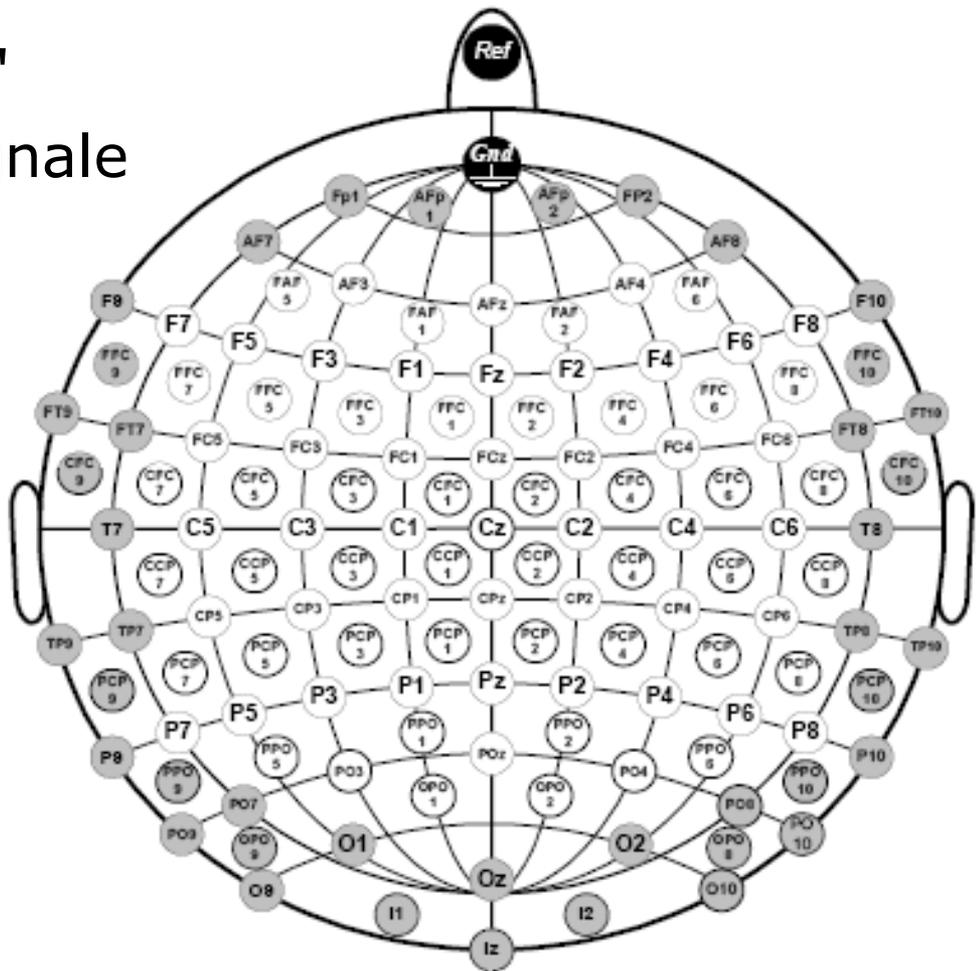
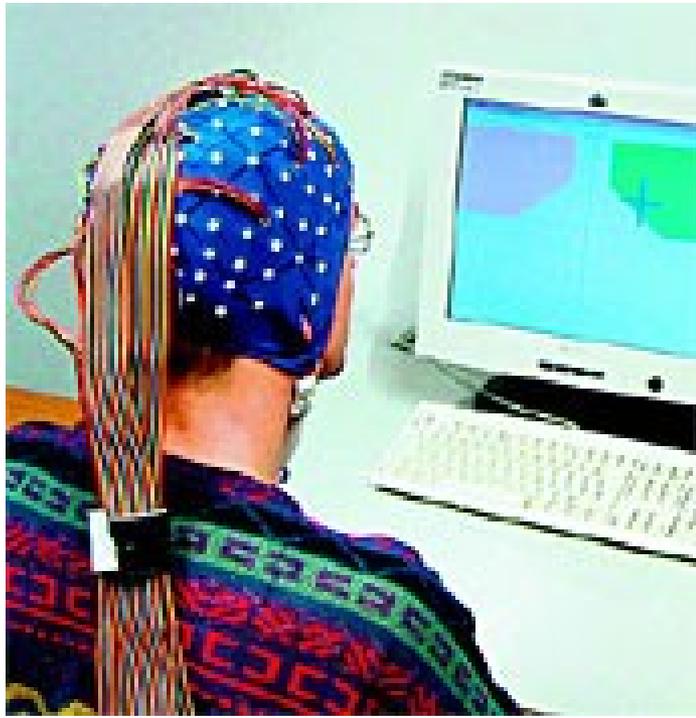


## (2) Datenaufnahme

- Anfänglich: Elektroden direkt in Hirnrinde implantiert
  - Problem: Verletzungs- und Infektionsrisikos
  - Fraglich: noch nötig, wegen verbesserter EEG-Methoden
- bedeutend effizientere Signalgewinnung
  - Elektroden unter Schädeloberfläche, auf Hirnoberfläche, anbringen
  - => Elektrokortikogramm (ECoG), ohne in Gehirngewebe zu implantieren
  - Risiko verringern
- am risikolosesten: EEG-Methode

# (3) Datenaufnahme

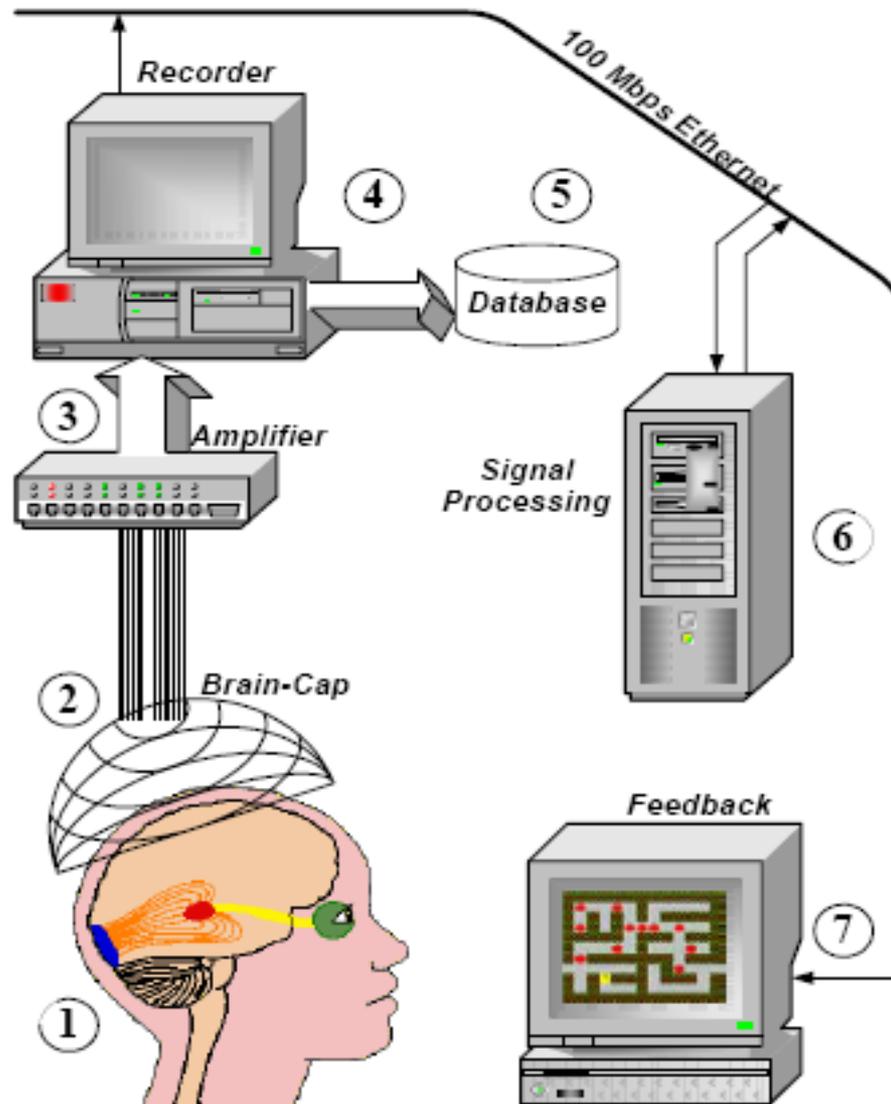
- Verwendung von 'Thinkcap'
- mehr Elektroden=mehr Signale



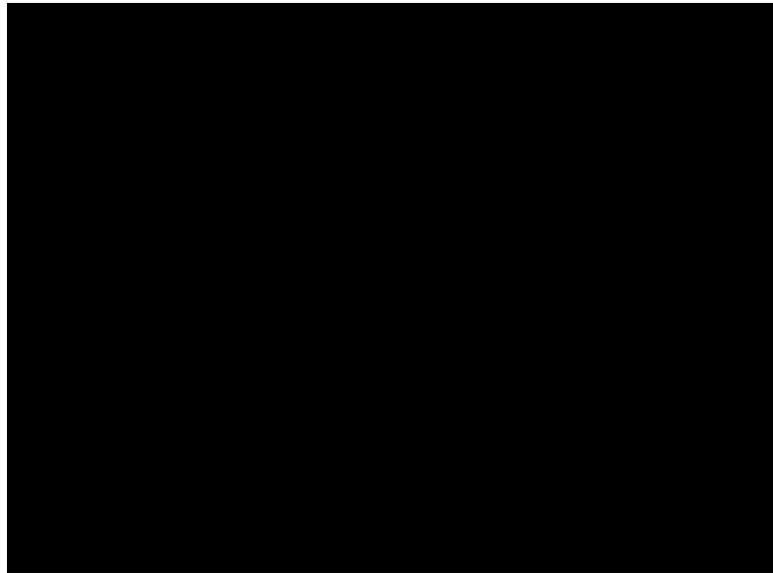
- 'Berlin Brain-Computer Interface': 128 Elektroden.
- Verfahren: Elektroenzephalografie

- Interpretation der Signale
  - Mensch trainieren
    - teilweise monatelanges Üben
  - Heutzutage: Computer lernt was Mensch will
    - Trainingsphase: 20-30 Min.
    - BBCI: 4 Einheiten von je 6 Min.
    - abwechselnd: 1x gedachte, 1x ausgeübte Bewegung (identisch)
- beißen, schlucken, gähnen & alle Bewegungen verfälschen EEG
  - herausfiltern

# Datenverarbeitung BBCI



- erkannte Bewegung
  - Steuersignale
  - Eingabe für Computer
- Bei BBCI: Feedback-Computer (Labyrinth á la Pacman)
- GBCI (Graz): Querschnittsgelähmter kann wieder trinken



(um ethische Vorbehalte zu zerstreut)

- Jeder Mensch erzeugt individuelle Hirnstrom-Muster, die sich mit dem Alter verändern. "Alphawellen verhalten sich bei allen Menschen ähnlich. Hirnstrom-Muster hingegen, die durch aktives Denken entstehen, sind wie ein Fingerabdruck". Gedanken zu lesen, sei deshalb völlig unmöglich. "Wir können nur Denkmuster erkennen, die der Computer vorher gelernt hat".

- INTER-Projekt (**I**ntelligent **N**eural **I**nter**f**ace)
  - <http://www-ti.informatik.uni-tuebingen.de/~bogdan/>
- M. Bogdan, W. Rosenstiel, *Intelligent Neural Interface – Signalprocessing of Nerve Signals using Artificial Neural Nets*
- J.-U. Meyer et al., *Perforated silicon dices with integrated nerve guidance channels for interfacing peripheral nerves*
- T. Kohonen, *Self-organized formation of topologically correct feature maps*
- <http://de.wikipedia.org/> (Brain-Computer Interface, Cyberware)
- Roman Krepki, Benjamin Blankertz, Gabriel Curio, and Klaus-Robert Müller. *The Berlin Brain-Computer Interface (BBCI): towards a new communication channel for online control in gaming applications. Journal of Multimedia Tools and Applications, 2004. invited contribution.*
- *Maschinen allein durch Gedanken bewegen, BerliNews, 19. März 2004*
- *Die Kraft des Gedankens, Neue Zürcher Zeitung Online, 30. März 2005*
- <http://www.ch-forschung.ch/index.php?artid=246>
- <http://www.icsroscher.de/SoftCom.htm>
- <http://bci.tugraz.at/>