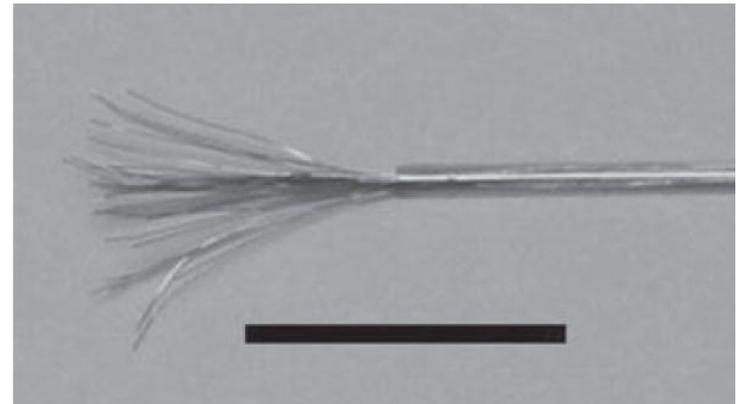


# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates



+



# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates – Inhalt

- Einführung
- Theoretischer Hintergrund
- Design Grundlagen
- Experiment
- Ausblick
- Diskussion

# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates – Paper

- „Brain-machine interfaces to restore motor function and probe neural circuits“
- Miguel A. L. Nicolelis
- Duke University, Durham
- 2003, Nature Reviews. Neuroscience

# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates – Einführung

- Lähmungen
- Forschung bietet therapeutische Optionen
  - Wiederherstellung von *voluntary motor control*
  - Bei traumatischen oder degenerativen Läsionen des Motorischen Systems

# Brain – Machine – Interfaces

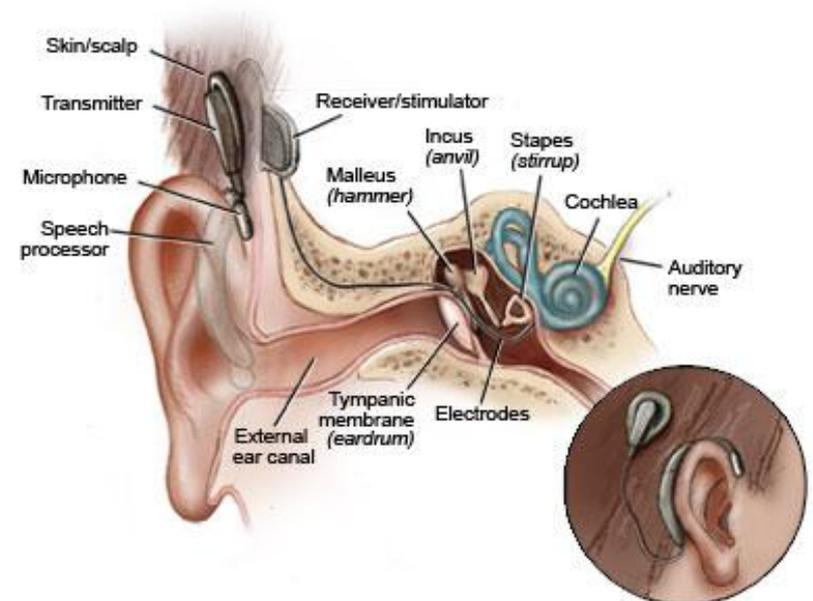
## Reaching and Grasping by Primates – Einführung

- Hauptgründe: Rückenmarksschädigungen
- 50% der Patienten leiden an Quadriplegie/Tetraplegie
  - Beeinflussung aller vier Gliedmaßen
  - Normalerweise auch Atmung etc betroffen
- Also: großer Effekt selbst bei minimaler Wiederherstellung der motorischen Skills

# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates – Einführung

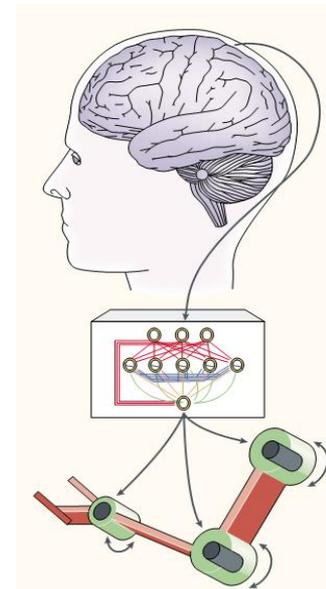
- Experimentelle Ansätze:
  - Fokus auf Reparatur des beschädigten Axone
    - Relativ schwierig
- Paralleler Forschungszweig:
  - *Neuroprothesen*



# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates – Einführung

- *Voluntary Motor Commands* aus der kollektiven, elektrischen Aktivität von kortikalen/subkortikalen Neuronen extrahieren
- Nachbildung der motorischen Funktionen durch
  - Direkte Stimulation der Muskulatur
  - Bewegungskontrolle von Aktuatoren



# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates – Einführung

- Ansatz: Extraktion von Gehirn Aktivität
  - Bzgl. Motorischen Signalen
  - Mehrere Möglichkeiten der Extraktion (EEG etc)
- Funktionale Interfaces zwischen Hirngewebe und verschiedenen Arten von *Geräte* möglich

# Brain – Machine – Interfaces Reaching and Grasping by Primates – Neuroengineering

- Annahme: „*Brain Machine Interfaces* zukunftsträchtig“
- Diverse Hirnstimulatoren unterstützen dies
  - Cochlea Implantat, *deep brain stimulators*
- Allerdings: Forschungsstadium
  - *Grundlagenforschung* nötig
  - *Engineering bottlenecks*

# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates – Neural Coding

- Frage: Wie werden sensorische & andere Informationen im Hirn repräsentiert?
- BMIs hier hilfreich
- Neural Coding abgeleitet durch Thomas Young: *Light Interferences*
- Kollektives, verteiltes Antwortverhalten von Photorezeptoren kann Wellenlänge jedes Stimulus im sichtbaren Spektrum wiedergeben

# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates – Neural Coding

- Elektrische Aktivität von großen und räumlich verteilten Populationen von Neuronen verantwortlich für Repräsentation von Attributen eintreffender sensorischer Stimuli bzw Generierung von motorischen Stimuli für eine vorsätzliche Handlung
- Erweiterung durch *Hebb* (1949): Zelluläre Analogie
- Hauptgrund nun für BMIs: Verteilung
  - Zufällige Stichproben/ random sampling „fruchtbar“

# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates – BMI Design

- 3 Herausforderungen/Kritiken am small sample Design
- Teils schlechte Experiment Ergebnisse
- Reduktion in Populationen von Neuronen
- Veränderung in den physiologischen Eigenschaften in solchen Populationen

# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates – BMI Design

- Allg. physiologische Grundsätze *wie* zB. Motorische Signale im Hirn dekodiert werden
- BMI sollte in der Lage sein, fundamentale Bewegungen durch Benutzung der Körperteile oder Aktuatoren wiederherzustellen

# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates – BMI Design

- 5 Prinzipien die beachtet werden sollten
  - Verteilung
  - *Multiplexing* der Informationen
  - Präventive Stichprobensammlung
  - Adaptivität/Plastizität
  - Kombinationsmöglichkeiten

# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates - Paper

- „Learning to Control a Brain-Machine-Interface for Reaching and Grasping by Primates“
- Miguel A. L. Nicolelis, et. al
- Duke University, Durham
- 2003, PLoS Biology Journal

# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates - Allgemein

- Ziel: Steuerung eines Roboterarms durch Makake Affen über BMI
- 6 DOF Arm, 1 DOF Greifer
- Arrays mit 16 – 64 Microwires
- Arrays im Frontal- und Partiaallappen des Gehirns implantiert
- Zwei Affenweibchen

# Brain – Machine – Interfaces

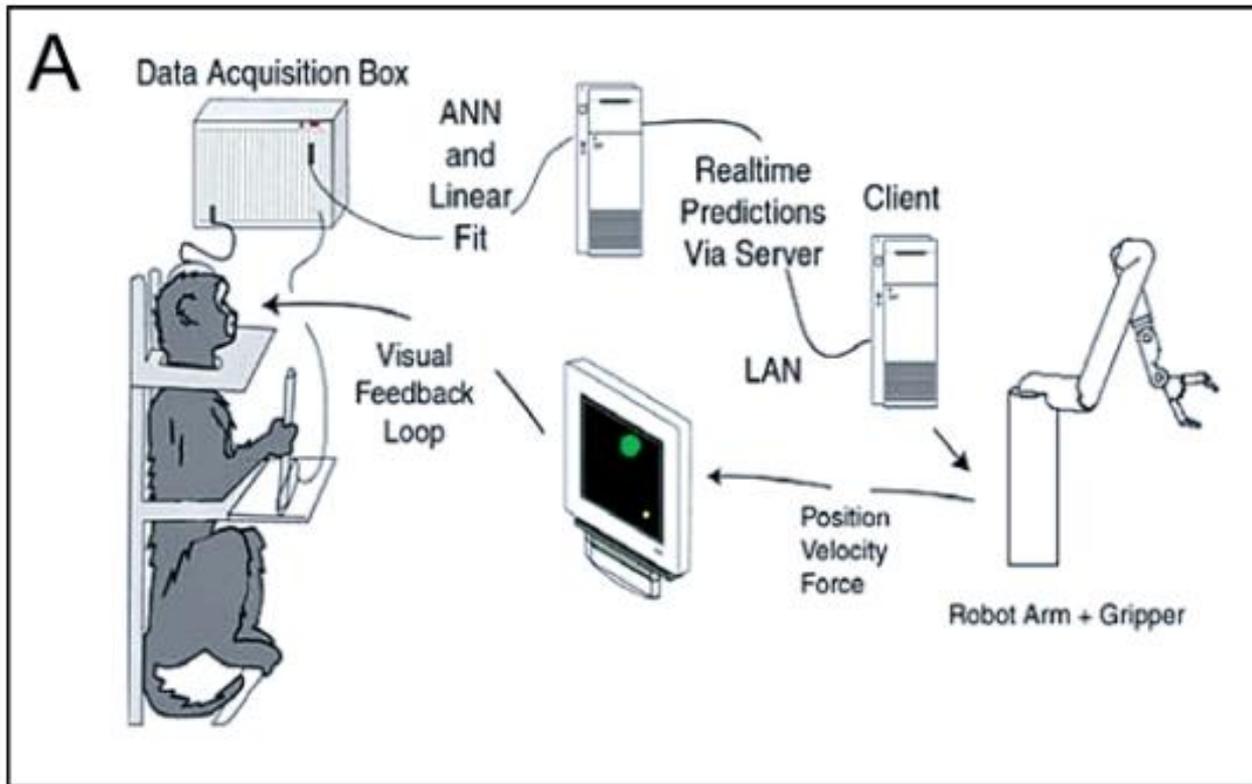
## Reaching and Grasping by Primates – Linear Model

- Extraktion motorischer Parameter aus neuronaler Aktivität
- Position, Geschwindigkeit, Kraft
- Modelliert als gewichtete Linearkombination der neuronalen Aktivität

$$y(t) = b + \sum_{u=-m}^n a(u) \cdot x(t-u) + \varepsilon(t)$$

# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates - Aufbau



# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates - Training

- 3 Trainingsaufgabe:
  - Arm bewegen
  - Greifen
  - Arm bewegen und zugreifen
- Extraktion der Motorischen Parameter über Linear Model

# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates – Training

- 30 Minuten initiales Training pro Trainingsphase
- Je nach Phase nur teilweise angewendetes Linear Model
- „Pole Control Mode“
  - Affen steuern Position des Cursor mittels Stift (Bewegung)
  - Affen steuern Größe des Cursors mittels Stift (Greifen)

# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates – Training

- Konvergiert Linear Model gegen optimale Performance
- „Brain Control Mode“
  - Steuerung direkt über neuronale Aktivität, Ausgabe direkt aus dem Linear Model
  - Parameter des Linear Model fixiert
  - Anfänglich: Bewegung der Arme

# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates - Training

- „Brain Control Mode“
  - Nach initialen Training wird Roboterarm in den BMI Control-Loop integriert
  - 2D visuelles Feedback für den Affen (Position, Größe des Cursors)
  - 60 - 90ms Delay für Linear Model → Roboter

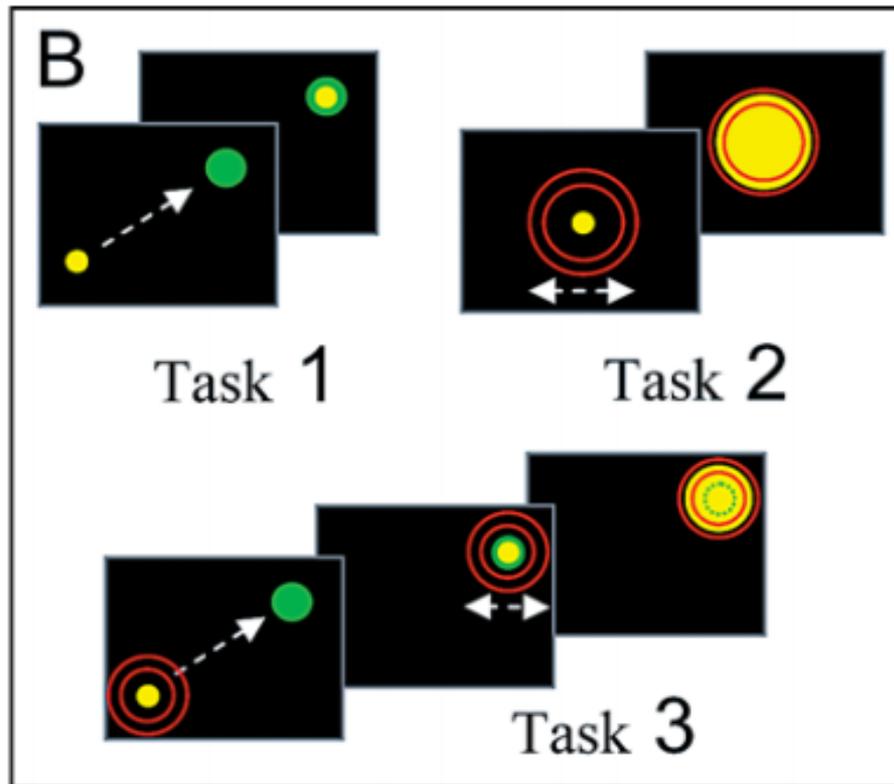
# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates - Training

- „Brain Control Mode“
  - Delay führte anfänglich zu Performanceeinbruch, nach ein paar Trainingseinheiten jedoch nicht mehr
  - Auch über längere Zeit kaum Abweichungen bei der Performance ( > 1 Stunde)
  - Nach Trainingsphase: Auswertung und Anpassung der Parameter des Linear Model

# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates - Training



# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates - Neuronen

- Welche Neuronen für motorische Handlung auswählen  
? → Fundamentale Frage
- Einzelne Neuronen im Frontal – und Parietallappen steuern zu allen motorischen Funktionen bei
- Am besten M1 Neuronen

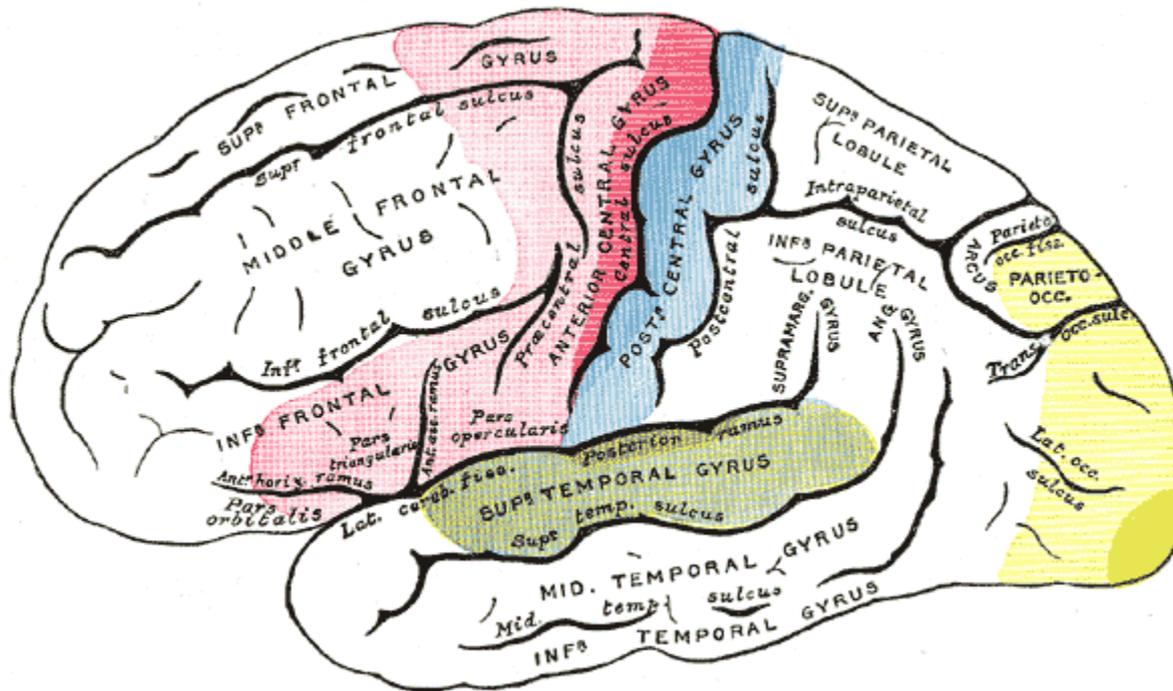
# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates - Neuronen

- Welche Neuronen für motorische Handlung auswählen  
? → Fundamentale Frage
- Funktionale Änderungen von Neuronen wurde während der Studie beobachtet
- Kaum Änderungen bei M1 Neuronen
- Allgemein: Je mehr Neuronen angezapft werden, desto besser die Vorhersage

# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates – M1 Neuronen

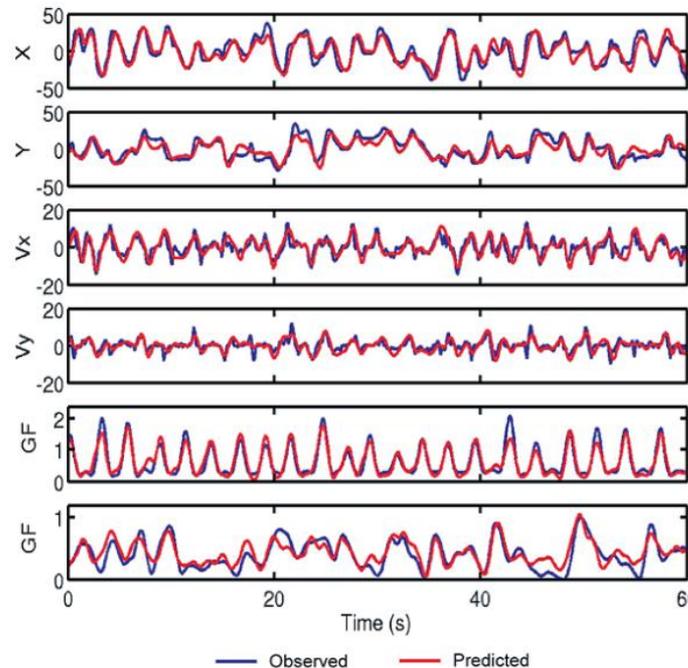


Quelle: [http://de.wikipedia.org/wiki/Motorischer\\_Cortex](http://de.wikipedia.org/wiki/Motorischer_Cortex)

# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates – Ergebnisse

- Affen können Roboterarm und Greifer über BMI steuern
- Ergebnisse teilweise besser als erwartet



# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates – Fazit

- BMI durchaus sinnvoll
- Grundlagenforschung notwendig
- Invasiv
- Allgemein schwer anpassbar / übertragbar

# Brain – Machine – Interfaces

## Reaching and Grasping by Primates – Diskussion

- Langzeitstudie zu Auswirkung, Verhalten des BMI (Neuronensterben, usw)
- Training auf behinderte Menschen übertragbar ?
- Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)