

Forschungsthema

NEURO3D

Registrier-Nr.

415/94

Sachbericht

**VERFAHREN UND PROTOTYP ZUR REKONSTRUKTION EINES
DREIDIMENSIONALEN, NEURONALEN INTERFERENZRAUMES**

Kurztitel

Neuronale 3D-Rekonstruktion (NEURO3D)

Projektlaufzeit 1.1.1994 - 30.6.1995

Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V. (GFal)
Rudower Chaussee 5, Geb. 13.7, D-12484 Berlin

Tel. +49 (30) 6392 1600
Fax. +49 (30) 6392 1602

Das Projekt wurde gefördert durch das
Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi)
unter der Registriernummer
BMWI-415/94

Berlin, den 20.12.1995

1 Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den Zielsetzungen des Antrages

Sämtliche im Projektantrag benannten Zielstellungen konnten erfüllt und übererfüllt werden.

Mit dem Projekt gelang es, ein ganz spezifisches, neues Teilgebiet *intelligenter Meßtechnik* zu erschließen. Gleichzeitig wurden erste Impulse gesetzt, um eine neue, im internationalen Vergleich wenig bekannte und wenig genutzte Technologie, die *interferenzieller Systeme*, zu erschließen.

Mit dem im Projekt entwickelten Simulator und Meßgerät 'Bio-Interface' ist es erstmals möglich, technische Interferenzsysteme (ausgenommen optische) zu planen, zu simulieren, zu untersuchen und zu entwickeln.

Folgende Ausführungen sind abweichend von der Form des Antrages aus Gründen der Übersichtlichkeit in drei Kapitel gegliedert.

Zunächst werden prinzipiell gelungene, wissenschaftlich brisante Leistungen dargestellt; im Punkt zwei werden die durchgeführten Hardware-Entwicklungsergebnisse benannt; und im dritten Anstrich werden die im Projekt entwickelten Softwarekomponenten kurz dargestellt.

Im Rahmen des Projekts NEURO3D gelang es, Grundlagen für eine relative Beobachtbarkeit neuronaler, pulspropagierender Systeme zu schaffen, sowie theoretische Voraussagen [7] zu projektiven Eigenschaften pulspropagierender Netze zu verifizieren.

Das Projekt NEURO3D muß aus heutiger Sicht als ein Meilenstein in der technischen Nutzbarmachung biologischer Informationsprinzipien wie in der Grundlagenuntersuchung zu biologischen Netzwerken gewertet werden.

Es wurde ein Untersuchungswerkzeug 'Bio-Interface' geschaffen, bestehend aus einer PC-Konfiguration mit Kanalverstärkern für invasive und nichtinvasive Ableitungen sowie einer Software, mit der Interferenzintegrale (mehrkanalige I.-Korrelationen) sowie Bewegtbildfolgen der Entwicklung dieser dargestellt werden können.

1.1 Ergebnisse mit Grundlagencharakter

Im einzelnen konnten über den Antrag hinausgehende Untersuchungen erfolgen. Die im Antrag genannten Positionen wurden erfüllt. Insbesondere konnten folgende Verifikationen dargestellt werden [2, 3, 4, 5]:

- a) Mit dem im Projekt entwickelten Werkzeug gelang es, eine erste (neuronale) Pulsinterferenzabbildung zu simulieren.
- b) Adressierung in stochastisch verschalteten Laufzeiträumen konnte untersucht werden. Randbedingungen können eingegrenzt und simuliert werden.
- c) Speicherprinzipien sensorischer Amplituden in spektraler Form konnten erstmals untersucht und simuliert werden.
- d) Ein erwarteter Zusammenhang zwischen Eigeninterferenz (Abbildung) und Fremdinterferenz (spektrale Komponente) konnte anhand des entwickelten Simulators experimentell verifiziert werden. Ausgehend davon wurden Simulationen durchgeführt, die eine spezifische Verknüpfung von Bild und Sinneswahrnehmung bio-neuronaler Netzwerke (Emotionen) verifizieren können.
- e) Es gelang, die im Antrag erwarteten Bewegungs- und Zoomeffekte neuronaler Abbildungen (Traum; assoziative Modelle) simulativ zu verifizieren.
- f) Es wurde gezeigt, daß und wie pulsende Interferenz-Systeme holografische Speicherung nutzen
- g) Mit dem entwickelten Werkzeug kann Abbildungsschärfe in Abhängigkeit von der Kanalzahl bei einer gegebenen Anordnung untersucht werden. Es zeigt sich, daß niederkanalige Abbildungen eigene, sensorische Amplituden (Feuerfrequenzen) in die topographische Kartierung aufnehmen, während höherkanalige Abbildungen 'emotional' unempfindlicher werden.

h) Erste interferenzielle Movies von EEGs (ECoG) konnten entwickelt werden [3]. Diese zeigen allerdings eine Vielzahl neuer, unerwarteter, zu lösender Detailprobleme auf.

Es zeigt sich, daß mit der Interferenzfaltung ein mathematisch derzeit noch nicht hinreichend verifiziertes Verfahren zur Verfügung steht, welches eine Reihe besonderer Eigenschaften besitzt. Theoretisch nicht vorhersagbare Möglichkeiten und Grenzen differentieller, relativer Verfahren können mit dem Simulator simulativ vorbestimmt werden.

Erste Ergebnisse grundlegender Natur wurden bereits im Jahresbericht der GFal 1994 dargestellt werden.

(siehe auch Anlage A) (Bilder siehe auch Anlagen M)

1.2 Ergebnisse der Hardware-Entwicklung

1.2.1 Preamplifier (Kanalvorverstärker)

Zur orientierenden Untersuchung akustischer und neuronaler Daten wurde ein vollständig digital steuerbarer mehrkanaliger Vorverstärker entwickelt, der folgende Eigenschaften besitzt:

- EEG-Messungen invasiv (10 μ V ab 0,03 Hz AC) und nichtinvasiv (100mV DC/AC)
- höchste Rauscharmut bei einer EEG-Quellimpedanz 15kOhm (siehe dazu [14])
- bedingte Eignung für Mikrofonie-Aufnahmen bis 100kHz

Digitale Steuerfunktionen (insges. 32 Schalter):

- Verstärkung dekadisch stellbar
- doppelte Hoch- und Tiefpässe dekadisch stellbar
- schaltbare Kopplung AC/DC
- Start shut down
- interne Testquelle schaltbar
- Eingänge mono/differentiell

Insgesamt wurden vier Prototypen entwickelt:

- Prototyp von Herrn Fritsch, einkanalig, für Meßzwecke in abgeschirmtem Gehäuse
- linearer, nicht selektiver 8-Kanalverstärker (Herr Kittner)
- frequenzselektiver 8-Kanalverstärker (Herr Kittner)
- Voll digital steuerbarer 19-Zoll Verstärker, pro 19"-Rack 16 diff. Kanäle (Herr Busch)

Die Abfolge mehrerer Prototypen war nötig, um Softwareentwicklungen parallel zur Hardware voranzutreiben, und um stets praktische Begleitversuche durchführen zu können.

(siehe auch Anlage B)

1.2.2 Trigger Box/ Stimulus Amplifier/Power Supply

Für die Echo-Vermessung bzw. die Messung evozierter Potentiale wurde ein Gerätesatz bestehend aus Stimulus-Steuergerät (Trigger Box) mit steuerbarer Konstantstromquelle (max. 100V/10mA) Power Supply und akustischem Verstärker (Stimulus Amplifier) entwickelt. Damit wird es möglich, akustische, visuelle und elektrische Reizungen vorzunehmen, und entsprechende Reaktionen zu registrieren.

(siehe auch Anlage C)

1.2.3 Analog-Digital-Wandlung

Zur PC-Kopplung wurde eine strobende 16 Kanal-AD-Wandlerkarte vom Typ WIN30DS zugekauft. Damit ist es möglich, im Ton-Frequenzbereich von 0Hz bis etwa 50kHz aufzuzeichnen. Geringere Kanalzahlen gestatten Aufzeichnungsraten bis zu 1MHz.

Eine 16-Kanal-Karte belegt einen AT-Bus Slot im PC. Es sind pro PC bis zu 4 WIN30DS-Karten konfigurierbar, folglich sind maximal 64 Kanäle parallel aufzeichnenbar.

Erkundende Voruntersuchungen zu einem maßgeschneiderten Analog-Digitalwandler als Eigenentwicklung brachten noch keine befriedigenden Ergebnisse [12].

(siehe auch Anlage D)

1.2.4 PC-Kopplung

Die Kopplung zum PC erfolgt im Interrupt-Mode. Analogdaten werden von der ADC-Karte WIN30DS gesammelt. Sobald der ADC-Speicher voll ist, löst ein Interrupt dessen Entsorgung zum Hauptspeicher aus. Entsprechende Lese- und Interrupt-Handler-Routinen wurden entwickelt bzw. modifiziert. Zur Aufnahme evozierter Ereignisse bzw. von Echos wurde eine spezielle Steuerungshardware als Zusatz zur WIN30DS-Karte entwickelt, die die Ereignissynchronisation vornimmt. Damit wird es möglich, verschiedene Testsignale auszugeben, und folgend eine synchronisierte Echo-Aufnahme zu starten.

Der parallele Interface Controller vom Typ 8255 der WIN30DS-ADC-Karte wird zusätzlich genutzt, um die für die Einstellung der Kanalverstärker nötigen 32 Bit an den Preamplifier zu übertragen.

1.3 Ergebnisse bei der Softwareentwicklung 'Bio-Interface'

1.3.1 Filemanagement

Der Gesamtentwicklung liegt ein Filekonzept zugrunde. Alle irgendwie an einer Faltung beteiligten Daten sind als Files speicherbar, und bei späteren Anlässen wieder lesbar.

Folgende Datentypen sind speicherbar, bzw. wieder rücklesbar:

- Model-Bitmaps für simulative Zwecke
- Kanaldaten
- Interferenzbilder
- Initialisierungswerte
- Farbtabellen
- Export/Importdaten für die Faltungsbeschleunigung mit Parallelrechner via Ethernet

(siehe auch Anlage E)

1.3.2 Hardware-Konfiguration

Zur Konfiguration der Hardware sind 32 binäre Ausgänge zur Steuerung der Preamplifier statisch einzustellen. Die 32 Bit werden in einem bitseriellen Protokoll über die PIA der WIN30DS übergeben.

Der Datenaustausch mit der AD-Wandlerkarte WIN30DS ist zu steuern. Analogwerte zur Einstellung der Reizparameter können an die DA-Wandler der WIN30DS übergeben werden. Die gewonnenen Kanaldaten werden synchronisiert eingelesen. Signalparameter, wie Abtastrate und Amplitudenskalierung können variiert werden.

Die gesamte Hardwarekonfiguration wird per Software gesteuert. An der Hardware befinden sich in der Finalversion keinerlei Schalter oder Bedienelemente. Daraus resultierend können alle Einstellungen der Hardware in einem Initialisierungsfile gespeichert werden. Beim Start der Software kann folglich die Hardware korrekt auf die Parameter früherer Sitzungen eingestellt werden, Fehlbedienungen werden reduziert. Einfachste Bedienung wird auch durch ungeschultes Personal möglich.

(siehe auch Anlage F)

1.3.3 Initialisierungsparameter

Bio-Interface wird über insgesamt etwa 130 Parameter gesteuert, siehe Anlage. Parameter, Koordinatenlisten der Elektroden, Namenslisten, Hardwarekonfiguration etc. werden in einem Initialisierungsfile wählbaren Filenamens (*.INI) gespeichert.

(siehe auch Anlage G)

Es wurde eine Initialisierungsroutine entwickelt, die bei Programmstart einen gewünschten Initialisierungsfile lädt.

1.3.4 Kanaldaten-Operationen

Aufgenommenen Kanaldaten sind zunächst Rohdaten. Oftmals ist es erforderlich, diese zu verändern. Folgende Routinen wurden entwickelt und stehen wahlweise zur Verfügung:

- automatische Amplitudennormierung
- pro Kanal einstellbarer Zeitoffset
- Amplituden-Offset-Kompensation
- steiles Bessel-Hoch- und Tiefpaßfilter mit 68 Taps, zentriert $0.01 * f_{\text{sample}}$
- Resampling auf binäre Vielfache
- Zentrierung auf Spannungspegel-Intervalle: [0...1], [-1...+1]
- Gleichtakt-Befreiung
- nichtlineare Verzerrung/Entzerrung durch exp-Funktion
- Sigmoid-Verzerrung
- Betragsbildung
- Detektion lokaler Maxima, Konversion in Spikes vorgegebener Zeitfunktion

(siehe auch Anlage H)

1.3.5 Kanaldatensynthese

Für simulative Aufgaben wurden verschiedene Programme zur Synthese von Kanaldaten entwickelt. Folgende Möglichkeiten stehen zur Verfügung:

- Vorgabe einer Periode der gewünschten Zeitfunktion in Tabellenform
- Vorgabe einer Periode der gewünschten Zeitfunktion in analytischer Form
- periodische Wiederholung von Zeitfunktionen mit wählbarer Dämpfung
- Zuordnung von Zeitfunktionsparametern zu Farben einer Generator-Vorlage (chromatische Synthese)
- einstellbare Refraktärität zwischen Zeitfunktionsteilen kanalbezogen oder konstant
- Interpolation einer in Stützstellen vorgegebenen Funktion
- Kompression von Kanaldaten

(siehe auch Anlage I)

1.3.6 Interferenz-Operationen

Zwei elementare Grundroutinen, deren Faltungsalgorithmen grundverschieden sind, können ausgeführt werden:

- a) eine schnelle, bildpunktbezogene Faltung
- b) und eine langsame, zeitschrittbezogene Faltung

Der Vorteil letzterer liegt darin, daß pro Zeitschritt die Entwicklung des Bildes beobachtbar wird. Auf diese Weise wurde es möglich, die im Internet ausliegenden Movies zu entwickeln.

Folgende Aufgaben können erledigt werden, entsprechende Programme wurden entwickelt:

- (integrative) Interferenz-Faltung (a)
- Serie von Momentanaufnahmen, Movie (b)
- Movie reduzierter Bildfrequenz mit partieller Integration in Zwischenräumen (a und b)
- interferenzielle Korrelation zu j Elektroden, es entstehen j Bilder (a)
- Zerlegung in n Interferenzklassen, n ist wählbar (a)
- statische Analyse, Interpolation des Potentialgebirges (b)

(siehe auch Anlage J)

1.3.7 Darstellungsprogramme

Zur Untersuchung von Interferenzphänomenen wurden verschiedene Darstellungsprogramme entwickelt:

- Kanaldaten-Fenster [9]
- Farbtabellewechsel (grau/farbig...)
- automatische Farbzurordnung zwischen Minimum und Maximum
- manuelle Farbkorrektur
- Kontrastkorrektur
- Bildfilterung, selektive Unterdrückung hoher oder tiefer Werte
- Pseudo-3D-Darstellung des Interferenzgebirges [13]

(siehe auch Anlage K)

1.4 Ergebnisse Parallelrechner

Zur Beschleunigung der integralen Interferenzfaltung (ein hochauflösendes Bild von 400x400 Pixeln rechnet auf einem Pentium bis zu 17 Stunden) wurden die Kernalgorithmen auf einen Parsytec-Parallelrechner portiert. Auf einem PowerX'plorer mit acht Knoten wird typisch eine Beschleunigung der Berechnung um einen Faktor 250 erreicht [1], [10].

(siehe auch Anlage L)

2 Darstellung der erreichten Ergebnisse, Auswirkungen auf die technische Entwicklung und Nutzen für kleine und mittlere Unternehmen

Mit den entwickelten Tools stehen erstmalig Werkzeuge zur Verfügung, die es gestatten, die Nutzbarkeit interferenzieller Verfahren in einer Vielzahl technischer Anwendungen abzuschätzen, und zu entsprechend funktionierende Verfahren zu entwickeln.

Derzeit befinden sich weltweit neben anderen erste, bekannt gewordene Verfahren im Einsatz, die auf einfachen Interferenzprinzipien beruhen:

- ☒ Global Positioning System (GPS)
- ☒ PC-basierende 3D-Raumvermessungssysteme mit Stiftsender
- ☒ Blitzwarnsystem in der USA (136 Stationen im 200 km-Raster)
- ☒ akustische U-Boot-Ortungssysteme der USA

Diese Technologien werden entscheidend durch die Verfügbarkeit von Rechentechnik im Verbund mit spezifischer Simulationssoftware geprägt. Ihre Erschließung begründet Wachstumsmärkte der näheren Zukunft.

Mit dem im Projekt entwickelten Interferenzsimulator ist es erstmals möglich, über die elementare Nutzung von Laufzeit einzelner Signale hinausgehende, allgemein nützliche Untersuchungen zu führen. Es steht weltweit erstmalig ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem im Prinzip sämtliche interferenziellen Abbildungen von der Optik über die Schallortung bis zu neuronalen Netzen oder elektrischen Funknetzen mit deren Zeitfunktionen simuliert und vermessen werden können.

Für die Zukunft sind mit den im Projekt entwickelten Werkzeugen kompliziertere, interferentiell arbeitende Geräte und Verfahren entwickelbar:

- ☒ mehrkanalige Laptop-Vermessungssysteme
- ☒ mehrkanalig bildgebende Ultraschall-Verfahren für Medizin und Werkstoffprüfung
- ☒ interferentielle, hochauflösende Ultraschall-Mikroskopie
- ☒ optimierter, interferentiell gesicherter Zelfunk
- ☒ interferentiell wirkende Radaranlagen u.a.m.

Das Projekt spielte und spielt somit eine Schlüsselrolle zur Erschließung verschiedener, neuer Techniken, die auf intelligente Signalverarbeitung abzielen.

Der Entwicklungsschwerpunkt des Projekts auf dem Gebiet neurologischer Untersuchungen brachte (wie nicht anders zu erwarten) noch nicht den durchschlagenden Erfolg. Wir sehen zwar erste, wunderbare, ungeahnt detailreiche und harmonische Movies (siehe Internet [3]), hatten eigentlich aber ganz andere Vorstellungen von zu erwartenden Bildern. Derzeit wissen wir noch nicht exakt, was wir eigentlich sehen. Entsprechende Grundlagenarbeiten experimenteller Natur sind erforderlich, um Validierungen vornehmen zu können. Über derzeit zur Verfügung stehende Datensätze ist nicht hinreichend viel bekannt, insbesondere über die durch uns zu erkundende Aktivitätsverteilung liegt wenig gesichertes Wissen vor. Derzeit einzig mögliche Verifikationen sind Dipol-Rekonstruktionen nach Henderson, diese sind von beschränktem Aussagewert zur Verifikation unseres Verfahrens.

Bei entsprechend verifizierten Kanaldaten sind wir auf die Unterstützung von außerhalb angewiesen, wir erwarten erst im ersten Quartal '96 einen Datensatz, der hinreichend durch Begleitdokumente (MEG, CTG, PETG, Fotos) gesichert ist, sodaß erst dann Aussagen über die Anwendungsqualitäten interferentieller Rekonstruktion im neurologischen und medizinischen Bereich zu treffen sind. Eventuell entsteht die Notwendigkeit, das Verfahren weiterzuentwickeln, und es zusätzlich mit einem statischen Verfahren zu koppeln, um elektrisch homogen wirkende Feldanteile zu kompensieren.

Erkundende Untersuchungen mit Schall zeigten, daß sich Schallquellen hervorragend orten lassen. Indes zeigte die passive Reflexion und Brechung an Grenzflächen noch nicht ganz die gewünschten Ergebnisse. Die Elastizität der Luft führt zu Impulsdispersionen. Zusammen mit Umgebungsgeräuschen ergibt sich ein Problemkreis, der unkonventionelle Lösungen erfordert. Dennoch sind wir optimistisch, dieses Verfahrensprinzip erfolgreich in die Ultraschalldiagnostik einführen zu können. Durch die mehrkanalige Aufnahme ist in jedem Falle ein Vielfaches an bildlicher Auflösungsqualität im Vergleich zu einfachen Echo-Verfahren erreichbar.

3 Zusammenstellung aller Veröffentlichungen im Projektrahmen

- 1] Heinz, G., Höfs, S., Koepp, I.: Parallel Interference Transformation to Simulate Nervous Activity. PowerX'plorer User Report, 2nd Edition, June 1995, Jan Knop, Ingo Schreiber, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, June 1995, S. 131-136
- 2] Heinz, G., Hoefs, S., Koepp, I., Kittner, D., Busch, C.: Verfahren und Prototyp zur Rekonstruktion eines dreidimensionalen, neuronalen Interferenzraumes. GFal Jahresbericht 1994, Mai 1995, Seiten 63-72
- 3] Movies, Bildmaterial und Texte sind im Internet via Netscape unter <http://www.gfai.fta-berlin.de> unter dem Phonebook-Entry 'Heinz' zu finden
- 4] Heinz, G.: Laufzeiträume als neue Doktrin - Relativität elektrischer Impulsausbreitung im Verhältnis zu statischen Modellierungsansätzen: neue Ergebnisse. Workshop 'Biologieorientierte Informatik und pulspropagierende Netze', GMD-FIRST Berlin, 18.11.94, Veranstalter GFal e.V. Berlin
- 5] Höfs, Sabine, Heinz, Gerd: Bio-Interface: Vorstellung eines neuartigen Meßgeräts und Simulators für Räume neuronaler Interferenz. Workshop 'Biologieorientierte Informatik und pulspropagierende Netze', GMD-FIRST Berlin, 18.11.94, Veranstalter GFal e.V. Berlin
- 6] Heinz, G.: Relativität elektrischer Impulsausbreitung als Schlüssel zur Informatik biologischer Systeme. 39. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium an der TU Ilmenau 27.-30.9.1994, Abgedruckt in Band 2, S. 238-245
- 7] Heinz, G.: Neuronale Interferenzen oder Impulsinterferenzen in elektrischen Netzwerken. Autor gleich Herausgeber. GFal Berlin, Dez. 1994, 400 S. Nur zur pers. Information
- 8] Heinz, G.: Modelling Inherent Communication Principles of Biological Pulse Networks. SAMS 1994, Vol.15, No.1, Gordon & Breach Science Publ. UK, Printed in the USA.
- 9] Schulze, Peter: Entwicklung eines Programms zur Visualisierung und Manipulation elektrisch oder akustisch aufgenommener Kanaldaten. Praktikumsarbeit für die Prüfung zum mathematisch-technischen Informatiker, IHK/GFal Berlin, 30.10.1995, 30 S.
- 10] Kieselberger, Sven: Entwicklung eines Faltungsmoduls für parallele Interferenzfaltung. Praktikumsbericht, HUB/GFal Berlin, Betreuer: G. Heinz, 30.9.1995, 65 S.
- 11] Rädisch, Jörg: Studie zu einem systolischen Faltungsprozessor für schnelle Interferenzfaltung. TFH Berlin/GFal Berlin, Betreuer: G. Heinz, 6.3.1995, 70 S.
- 12] Werner, Jörg: Untersuchung der Echtzeitfähigkeiten des Signalprozessors TMS320C26 für Filter-, Interpolations-, Differentiations- und Integrationsanwendungen. Praktikumsarbeit TFH Berlin/GFal, Betreuer: G. Heinz, Mai 1995, 26 S.
- 13] Fischmann, Vadim: Programm für die dreidimensionale Darstellung zweidimensional vorliegender Amplitudenverteilungen. Praktikumsarbeit BEFAK/GFal, Betreuer: G. Heinz, Mai 1995, 37 S.
- 14] Fritsch, Michael: Untersuchung und Entwicklung eines rauscharmen und programmierbaren Meßverstärkers für neurographische Aufnahmen. Diplomarbeit, FHTW Berlin FB3/GFal, Betreuer: G. Heinz, 27.9.1994., 62 S.

4 Schutzrechtsauskunft

Im Rahmen des Projekts wurden keine Schutzrechte angemeldet, da eine wirtschaftliche Verwertung derzeit noch nicht eingesetzt hat. An interessierte Partner werden Testinstallationen vergeben, um Probleme im Umgang mit den Tools erkennen und beseitigen zu können.

Dr. Gerd K. Heinz
Projektleiter

Prof. Dr. Alfred Iwainky
Vorstandsvorsitzender

Dr. Hagen Tiedke
Geschäftsführer

5 Verzeichnis der Anlagen

Anlage A Jahresbericht '94

Anlage B Evolution der Meßverstärker

- ☒ Prototyp
- ☒ linear mit EEG-Zusatz
- ☒ selektiv mit EEG-Zusatz
- ☒ digital PC-steuerbare Finalversion
- ☒ Leiterkarte der Finalversion

Anlage C Trigger Box/Power Supply/ Stimulus Amplifier

- ☒ Trigger Box mit Power Supply 13V/100V
- ☒ Stimulus Amplifier

Anlage D Blick in den PC mit Analog-Digitalwandlerkarte

Anlage E Menue Filemanagement

Anlage F Menue Hardware-Konfiguration

Anlage G Beispiel eines Initialisierungsfile

Anlage H Menue Channel-Filter

Anlage I Menue Virtuelle Kanalsynthese

Anlage J Menue der Aktionen

Anlage K Menue der Darstellungsprogramme

Anlage L User-Report Parallelrechner

Anlage M Bildteil

Anlage M1: 30-Kanal-ECoG Interferenz-Integral eines Epilepsieherdes

Anlage M2: dito 30-Kanal-ECoG, Interferenzklassen mit Tiefenprofil

Anlage M3: dito 30-Kanal-ECoG, kurze Integrationsintervalle, I.-Klassen

Anlage M4: Beispiel-Simulation mit dem Bio-Interface

Anlage M5: Realitätsnahe 30-Kanal ECoG-Simulation