

Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG	1
ABSTRACT	3
1 EINLEITUNG UND MOTIVATION	6
1.1 ZIEL DER ARBEIT	7
1.2 TECHNISCHE ANFORDERUNGEN AN DAS ZU ENTWICKELNDE SYSTEM	8
1.3 EINBETTUNG DER PROMOTION	9
2 GRUNDLAGEN UND METHODEN	12
2.1 DIE MEG	12
2.2 MEG GERÄTE	13
2.3 MEG MESSSYSTEM	15
2.4 DATENVERARBEITUNG	16
2.4.1 Synchronisationsanalyse	17
2.4.2 Rekonstruktion der zerebralen Stromdichteverteilung	17
2.4.3 Biomagnetisches Inverses Problem	17
2.4.4 Bio-Feedback	18
3 STAND DER TECHNIK	20
3.1 STAND DER TECHNIK ZUR ECHTZEITVERARBEITUNG	20
3.1.1 Aufbau von echtzeitfähigen Systemen	21
3.1.2 Aufbau von echtzeitfähigen Datenerfassungs- und Auswertebaugruppen	22
3.1.3 Prozessoren für die digitale Signalverarbeitung	24
3.1.4 FPGAs in der digitalen Signalverarbeitung	24
3.1.5 Benchmark Tests von DSPs und PC Prozessoren	25
3.1.6 Benchmark der Artefaktunterdrückung	26
3.2 STAND DER TECHNIK ZUR ARTEFAKTUNTERDRÜCKUNG	28
3.2.1 Artefaktunterdrückung in der Echtzeit Magnetenzephalographie	29
3.3 STAND DER TECHNIK ZUR QUELLENREKONSTRUKTION	31
3.3.1 Rekonstruktions- und Quellenraum	31
3.3.2 Dipolmodelle	33
3.3.3 Magnetfeldtomographie (MFT)	34
3.4 STAND DER TECHNIK BEI ECHTZEIT AUSWERTUNGEN UND RÜCKKOPPLUNGEN AM MEG	35
3.5 STAND DER TECHNIK AM MAGNES-2500WH MEG	36
3.5.1 Signalverzögerungen am BTi MAGNES-2500WH MEG	37
4 SYSTEMKONZEPT	40
4.1 ANFORDERUNGEN AN DAS MEG-ONLINE SYSTEM	41
4.1.1 Anforderung an die Rechenleistung	41
4.1.2 Anforderungen an die MEG Anbindung	42
4.1.3 Anforderung an die Datenspeicherung	42
4.1.4 Anforderungen an eine externe Stimulationseinheit	42
4.1.5 Anforderungen an Visualisierungen und Bedienung	43
4.1.6 Anforderung an Echtzeit- und Online-Verarbeitung	43
4.2 MEG-ONLINE KONZEPT	44
4.2.1 Konzept des Echtzeitsystems	45
4.2.2 Konzept der MEG Anbindung	46
4.2.3 Vorverarbeitung im FPGA	47
4.2.4 Konzept für eine Stimulationseinheit	47
4.3 WEITERE SCHNITTSTELLEN	48
4.3.1 Triggerschnittstellen	48
4.3.2 Allgemeine analoge Ein-/Ausgänge	48

4.3.3	<i>Konfigurationsdateien</i>	49
4.3.4	<i>Abspeicherung der Online-Auswertungen</i>	49
4.4	MEG-ONLINE SYSTEM	50
5	HARDWAREREALISIERUNG DES SYSTEMS	54
5.1	UNIDAQ	55
5.1.1	<i>Das DSP Modul</i>	57
5.2	DAS EIN-/AUSGABE MODUL	58
5.2.1	<i>LWL Schnittstelle</i>	59
5.2.2	<i>Analoge Eingänge</i>	60
5.2.3	<i>Analoge Ausgänge</i>	60
5.2.4	<i>Digitale Ein- und Ausgänge</i>	60
5.3	DER LICHTWELLENLEITERKOPPLER	61
5.4	DIE STIMULATIONSEINHEIT	63
5.4.1	<i>Visuelle Stimulation mit Beamer und Blende</i>	65
5.4.2	<i>Optische Stimulationsbrille</i>	65
6	SOFTWARE	68
6.1	DIE APPLIKATION MEG-ONLINE	68
6.2	SIGNAL- VORVERARBEITUNG IM FPGA	70
6.2.1	<i>Dynamikkorrektur</i>	70
6.2.2	<i>Kalibrierung der Sensordaten</i>	71
6.3	SIGNALVERARBEITUNG UND RÜCKKOPPLUNG IM DSP	72
6.3.1	<i>Artefaktunterdrückung</i>	73
6.3.2	<i>Rekonstruktion des Stromverlaufs eines Voxels</i>	74
6.3.3	<i>Bandpassfilterung</i>	74
6.3.4	<i>Rückkopplungen</i>	75
6.4	ONLINE SIGNALVERARBEITUNG UND AUSWERTUNGEN IM PC	76
6.4.1	<i>Bestimmung der Artefakt-Unterdrückungsmatrix</i>	76
6.4.2	<i>Tiefpass / Hochpass / Bandpass Filterung</i>	77
6.4.3	<i>Frequenzgangbestimmungen</i>	78
6.4.4	<i>Die Phasenrücksetzanalyse</i>	79
6.5	MEG-ONLINE OBERFLÄCHE	80
6.5.1	<i>Sensorfeld und Wasserfalldiagramm</i>	81
6.5.2	<i>Phasenrücksetzanalyse</i>	82
6.5.3	<i>Rekonstruktion der Stromdichteverteilung</i>	83
6.5.4	<i>Bio-Feedback</i>	85
6.6	FL4 DATENFORMAT	87
6.6.1	<i>Einlesen einer FL4 Datei</i>	88
6.6.2	<i>FL4 Datenbrowser</i>	88
7	ANWENDUNGEN UND ERGEBNISSE	92
7.1	PHASENRÜCKSETZANALYSEN	92
7.1.1	<i>Das Entrainment Experiment</i>	93
7.1.2	<i>Experimentelles Design</i>	94
7.1.3	<i>Ergebnisse</i>	95
7.2	REKONSTRUKTION DER STROMDICHTEVERTEILUNG	96
7.2.1	<i>Benutzeroberfläche für die Rekonstruktion</i>	97
7.2.2	<i>Experimentaufbau</i>	98
7.2.3	<i>Ergebnisse</i>	99
7.3	RÜCKKOPPLUNGEN	101
7.3.1	<i>Lineare, verzögerte Rückkopplung</i>	101
7.3.2	<i>Nicht-lineare, verzögerte Rückkopplung:</i>	103
7.3.3	<i>Implementierung</i>	105
7.3.4	<i>Testmessungen</i>	107
7.3.5	<i>Ergebnisse für sensorbasierende Rückkopplungen</i>	111

7.3.6	<i>Ergebnisse für voxelbasierende Rückkopplungen</i>	113
8	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	116
8.1	VERGLEICH MIT DEN ANFORDERUNGEN	116
8.2	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	117
9	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	122
9.1	ZUSAMMENFASSUNG	122
9.2	AUSBLICK	123
10	ANHANG: TECHNISCHE DOKUMENTATION	126
10.1	SYSTEMVORAUSSETZUNGEN UND INSTALLATION	126
10.1.1	<i>Hardware Voraussetzungen</i>	126
10.1.2	<i>Software Voraussetzungen</i>	127
10.1.3	<i>MEG-Online Installationsverzeichnisse</i>	127
10.2	UNIDAQ BAUGRUPPE	128
10.2.1	<i>Schaltpläne der UniDAQ Baugruppe</i>	129
10.2.2	<i>Bestückungspläne der UniDAQ Baugruppe</i>	135
10.3	DSP D.C6713 MODUL	136
10.4	DAS EIN-/AUSGABE MODUL	138
10.4.1	<i>Schaltpläne des Ein-/Ausgabe Moduls</i>	140
10.4.2	<i>Bestückungspläne des Ein-/Ausgabe Moduls</i>	143
10.5	DER LICHTWELLENLEITERKOPPLER	144
10.5.1	<i>LWL Zeitdiagramme</i>	144
10.6	DIE STIMULATIONSEINHEIT UND DER USB-MIKROKONTROLLER	145
10.6.1	<i>Schaltpläne der Stimulationseinheit</i>	149
10.6.2	<i>Bestückungspläne der Stimulationseinheit</i>	152
10.7	ANHANG C: FORMAT DER FL4 DATEI	153
10.7.1	<i>FL4 Datenformat</i>	153
11	ABKÜRZUNGEN UND BEGRIFFE	158
11.1	ABKÜRZUNGEN	158
11.2	BEGRIFFSERLÄUTERUNGEN	158
12	VERZEICHNISSE	164
12.1	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	164
12.2	TABELLENVERZEICHNIS	166
12.3	LITERATURVERZEICHNIS	167
12.4	INTERNETQUELLEN	174