

Forschungszentrum Jülich GmbH Zentrallabor für Elektronik

Auslegung des Detektorsystems für einen hochauflösenden Positronen-Emissions-Tomographen mit hoher Sensitivität

Uwe Heinrichs

Schriften des Forschungszentrums Jülich

Reihe Lebenswissenschaften/Life Sciences Band/Volume 6

ISSN 1433-5549 ISBN 3-89336-340-8

INHALT

1 EINLEITUNG 1

2 SMALL ANIMAL PET 5

2.1 CHARAKTERISTIKA EINES SMALL ANIMAL PET SCANNERS 5

2.1.1 Räumliche Auflösung 6

2.1.2 Sensitivität und Signal-zu-Rausch-Verhältnis 11

2.1.3 Ein hochauflösender, hochempfindlicher Small Animal PET Scanner 15

2.2 SMALL ANIMAL PET SCANNER 15

2.3 DAS PRIMATENPET PROJEKT 18

2.4 DIE EINBINDUNG IN DIE CRYSTAL CLEAR COLLABORATION (CCC) 18 2.5 DER P MT - CLEARPET PROTOTYP 20

3 TEST VON SYSTEMKOMPONENTEN 22

3.1 UNTERSUCHUNGEN AN LSO-EINZELKRISTALLEN 23

3.1.1 Voruntersuchungen 23 3.1.2 Hauptuntersuchungen 28

3.2 REALISATION UND MESSUNG ERSTER DETEKTOREINHEITEN 33

3.2.1 Charakterisierung der Photomultiplier 33

3.2.2 Untersuchung erster Kristallmatrizen 35

3.3 WEITERFÜHRENDE ARBEITEN AN SYSTEMKOMPONENTEN 40

3.3.1 Charakterisierung der LuYAP-Kristalle 40

3.3.2 Entwicklung der Kristallmatrizen 41

3.3.3 Verbesserung der P MT -Homogenität 42

4 SYSTEM DESIGN STUDIEN -SIMULATION	44
4.1 GEANT3 -FUNKTIONSWEISE UND IMPLEMENTIERUNG	45
4.1.1 Aufbau und Ablauf der GEANT3 Simulation	45
4.1.2 Implementierung in GEANT3	48
4.2 DESIGNFINDUNG FÜR DIE PMT -CLEARPET PRIMATEN VERSION	51
4.2.1 Mögliche Designs	51
4.2.2 Axiales Sensitivitätsprofil	52
4.2.3 Optimierung des Sensitivitätsprofils	53
4.2.4 Auswahl der Kristalllänge -Auflösung kontra Sensitivität	57
4.2.5 Einfluss der DOI-Information auf Sensitivität und Auflösung	59
4.2.6 Untersuchungen zur Notwendigkeit der Rotation der Gantry	62
4.2.7 Design der Primaten Version des P MT -ClearPET	65
4.3 EINSTUFUNG DER ERGEBNISSE ANHAND EINES BESTEHENDEN SYSTEMS	67
4.3.1 Concorde MicroPET R4 und P4	67
4.3.2 Axiale Sensitivität	69
4.3.3 Radiale Image Resolution	71
4.3.4 Intrinsische Auflösung	74
4.4 ZUSAMMENFASSUNG DER SIMULATION	77
5 VALIDIERUNG DER SIMULATION	80
5.1 DER 2-KOPF-PMT-PROTOTYP	80
5.2 ANPASSUNG DER SIMULATION AN DIE REALITÄT	82
5.3 VERGLEICH ZWISCHEN SIMULATIONEN UND MESSUNGEN	86
5.3.1 Axiale und radiale Sensitivität	86
5.3.2 Die intrinsische Auflösung	88
5.3.3 Auflösungsverhalten	93
5.4 ZUSAMMENFASSUNG DER VALIDIERUNG	95
6 ZUSAMMENFASSUNG	98

ANHANG A: Rechnergestützte Positronen-Emissions-Tomographie 103

I EINLEITUNG	107
II SIGNALERFASSUNG IN DER POSITRONEN-EMISSIONS-TOMOGRAPHIE (PET)	-109
II.1 WAS IST PET?	109
II.2 ANWENDUNG DER PET	110
II.3 SZINTILLATIONSKRISTALLE IN DER PET	112
II.4 HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER SCANNER	114
II.4.1 Entwicklung bei Siemens/CTI	118
II.4.2 Entwicklung bei General Electric (GE) Medical Systems	120
II.5 AKTUELLER STAND AUF DEM GEBIET DER ORTSDETEKTION	122
II.5.1 Ortsdetektion ohne Tiefeninformation	122

II.5.2 Ortsdetektion mit Tiefeninformation	123
III DATENAKQUISITION	126
III.1 2-D/3-D-AUFNAHME	126
III.2 DATENAUFNAHMEFORMATE	127
III.3 VORVERARBEITUNG DER KOINZIDENZDATEN	129
III.4 DATENFLUSS UND SPEICHERUNG DER DATEN	143
III.4.1 Vom Positron zum Volumenbild	143
III.4.2 Struktur der Datenverwaltung	146
III.4.3 Vernetzung der PET -Rechnerumgebung	146
III.4.4 Die Mensch-Maschine-Schnittstelle	147
IV DATENREKONSTRUKTION	152
IV.1 HISTORISCHER RÜCKBLICK	152
IV.2 DIE REKONSTRUKTION	153
IV.2.1 Radontransformation	153
IV.2.2 Gefilterte Rückprojektion (FBP)	155
IV.2.3 Die iterative Rekonstruktion	159
IV.2.4 Die Systemmatrix	160
IV.2.5 Der Maximum-Likelihood Expectation-Maximization (MLEM)-Algorithmus	161
IV.2.6 Das Ordered-Subset-MLEM (OSEM)-Verfahren	165
IV.3 REBINNING-VERFAHREN	166
V BEARBEITUNG, FORMATE UND STANDARDISIERUNG DER DATEN	168
V.1 BEARBEITUNG DER REKONSTRUIERTEN BILDER	168
V.2 FORMATE UND STANDARDISIERUNG DER DATEN	169
VI AUSBLICK	174
VII ERGÄNZENDE TABELLEN	175
ANHANG B	181
I BESTEHENDE SMALL ANIMAL PET SCANNER	185
II NÄHERE BETRACHTUNGEN ZUR AUFLÖSUNG	191
II.1 RÄUMLICHE AUFLÖSUNG IN DER PET	191
II.1.1 Definitionen räumlicher Auflösung	191
II.1.2 Die intrinsische und die Koinzidenz-Antwortfunktion	193
III FRONTEND ELEKTRONIK DES CLEARPET SYSTEMS	201
III.1 FREILAUFENDES PULSSAMPLING	201
III.2 DATENVERARBEITUNG	203
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	207
FORMELVERZEICHNIS	209
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	213

TABELLENVERZEICHNIS 221
LITERATURVERZEICHNIS 223