

# Elektronikentwicklung

**Gruppenleiter:** M. Zimmer

**Zur Abteilung Elektronikentwicklung FE gehören die Fachgruppen FEA für digitale Datenverarbeitung, FEB für analoge Datenverarbeitung, Mess- und Regeltechnik sowie FEC für Mikro- und Optoelektronik.**

## Si-Driftdetektor

Gegenstand des im August 2004 angelaufenen Projektes ist die Entwicklung eines Sensormoduls als Instrument für die Röntgenabsorptionsspektroskopie und -fluoreszenzanalyse. Si-Driftdetektoren dienen hier dem Nachweis einzelner Röntgenquanten. Deren Energiewerte in Form von elektrischen Signalen werden von einer integrierten Ausleseelektronik aufbereitet und weiterverarbeitet. Eine kompakte, stiftartige Ausgestaltung der Sensorik ermöglicht sehr geringe Abstände zur Probe und bietet eine hohe Flexibilität hinsichtlich ihrer Anordnung im Experiment. Die hexagonale Außenform des Gehäuses gestattet eine flächige Anordnung mehrerer Module.

Betrieben um Raumtemperatur und im Energiebereich zwischen etwa 2 und 35 keV weist der Sensortyp eine Energieauflösung von bis zu wenigen hundert eV auf. Die aktive Fläche von etwa  $50 \text{ mm}^2$  ist für einen Zählratenbetrieb von mehreren Megahertz in sieben hexagonale Zellen unterteilt. Wabenförmig angeordnete Stege einer eintrittsfensterseitig montierten Maske schatten die Zellengrenzbereiche ab, in denen sich eine Ereignisladung auf mehrere Zellen verteilen würde. Dadurch lässt sich das für die Spurenanalytik erforderliche hohe Signal zu Untergrund Verhältnis erzielen.

Dabei werden unterschiedliche Materialien hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit für verschiedene Energiebereiche untersucht. Ein dreidimensional laserstrukturierter Grundträger in Dünnschichttechnik nimmt den Detektorchip auf und dient gleichzeitig der Zuführung von Versorgungsspannungen und Signalanbindung an den Auslesechip. Dieser befindet sich auf dem versteiften Teil eines hybriden Schaltungsträgers. Ein zwischen Sensor und Schaltungsträger lokalisiertes Strahlungsschild schützt die Elektronik vor Strahlenschäden und minimiert die Rückfluoreszenz auf den Sensor. Über einen Deckel aus Aluminiumnitrid pumpt ein Peltier-Element die Wärme aus dem Sensorkopf in ein metallisches Rohr. Das Kühlrohr schirmt gleichzeitig den rohrförmig gebogenen, flexiblen Teil des Schaltungsträgers ab. Dieser enthält passive Komponenten zur Filterung der Versorgungsspannungen, aktive Leitungstreiber und Lötflächen zur Kontaktierung eines Kabels. Die Gesamtkonstruktion besitzt eine Schlüsselweite von 16 mm, ist etwa 22 cm lang und für den Einsatz im Vakuum geeignet. Ein vorhandenes Datennahmesystem wird für den Betrieb der 7-kanaligen Sensormodule an HASYLAB-Beamlines umgerüstet.

Im Berichtszeitraum wurden sowohl die Sensoren als auch alle anderen Einzelkomponenten entwickelt und gefertigt sowie die Umrüstung des Datennahmesystems vorgenommen und getestet. Die Projektleitung berichtete der Projektkommission im halbjährlichen Abstand über die Fortschritte. Die Entwicklungsphase der Auslesechips, der auf einer  $0.35 \mu\text{m}$  BiCMOS Technologie basiert, dauert an. Die Arbeiten zum hybriden Schaltungsträger und zum Modulaufbau sind für 2006 geplant.

## Schnelle Datenerfassungskarte für PETRA III

FEA und FEB haben Ende 2004 mit der Entwicklung für eine schnelle, intelligente Datenerfassungskarte für die Gruppe MHF-e begonnen. Die modulare Baugruppe, bestehend aus einer Trägerplatine im PXI-Standard und vier Aufsteckkärtchen für die Eingangskanäle, wird bei PETRA III Analogsignale von Cavities und Klystrons digitalisieren, in einem Ringpuffer mit bis zu 64 MByte zwischenspeichern und daraus Triggersignale, Eingangsgrößen für Regelprozesse und einen reduzierten Datenstrom für die externe Speicherung erzeugen. Die konfigurierbaren Algorithmen zur Datenauswertung von Phasen und Amplituden der Eingangssignale sind in zwei FPGAs enthalten die außerdem die Speicherverwaltung erledigen und über eine kommerzielle Bridge mit dem PCI-Rechnerbus kommunizieren. Für die Auslese der Daten mit LabView wurde ein entsprechender Treiber konfiguriert. Die Umsetzung der vierkanaligen Schaltung in eine 3HE-Trägerplatine im PXI-Standard erforderte aufgrund der recht kleinen Fläche den vermehrten Einsatz von Komponenten mit hoher Packungsdichte, wie Ballgrid-Arrays, und wurde auf einer 16-lagigen Leiterplatte realisiert. Als Konsequenz lassen sich herkömmliche Testverfahren nur noch begrenzt anwenden, so dass bereits beim Design der Karte das Boundary Scan Testverfahren berücksichtigt wurde.

Mitte des Berichtsjahres stand die erste Prototypenserie aus Trägerplatinen und Aufsteckkärtchen für ausführliche Tests und Messungen zur Verfügung.

Die von FEB entwickelten analogen Aufsteckkärtchen besitzen einen differentiellen Eingang, um ein- und auskoppelnde Störungen aufgrund von Summenströmen durch die Baugruppe hindurch zu vermeiden. Vor der Digitalisierung mit 10 MS/s und 14 bit-Auflösung Signal werden Störeffekte hochfrequenter Signale (> 7.5 MHz) reduziert und Common-Mode Störungen im gesamten Frequenzbereich zwischen 40 dB (bei 50 MHz) und 57 dB (bei 1 MHz) unterdrückt, was für den Einsatz unter ungünstigen EMV-Bedingungen von Bedeutung ist. Messungen haben außerdem ge-

zeigt, dass der Frequenzgang von DC bis 7.5 MHz an das Messsignal gut angepasst ist und das Verhältnis Rauschen/volle Skala trotzdem 12.9 bits entspricht (75 dB).

Der Einfluss der Schaltung durch Nicht-Linearität und Rauschen bei dem angestrebten Einsatzzweck zur Amplituden- und Phasenrekonstruktion wurde durch langsame Verschiebung der Phase gegenüber der Digitalisierungsclock studiert. Die gemessenen Abweichungen der Amplitude ( $< -55$  dBc) und Phase ( $< 0.30$ ) sind klein und liegen im Rahmen der Erwartungen.

Die nächsten Schritte sind die Serienfertigung, weitere Anpassungen an der Firmware und die Vorbereitung der Serientest mit dem Bau entsprechender Testadapter.

## Frontend Elektronik für CALICE – AHCAL

FEB hat die detektornahe Frontend-Elektronik des analogen hadronischen Kalorimeters, Testadapter für Teile des Kalorimeters und einen Multiplexer zur Überwachung des Betriebszustandes für die Gruppe FLC entwickelt. Die Gruppe FLC beteiligt sich im Rahmen der CALICE Kollaboration (CALorimeter for the LInear Collider Experiment) am Bau eines Testkalorimeters.

Das Kalorimeter besteht aus Szintillatorplättchen, die individuell mit einem Silizium-Photomultiplier ausgelesen werden. Daraus ergeben sich als Anforderung an die von FEB entwickelte Frontend-Elektronik starke geometrische Vorgaben und für diskrete Elektronik hohen Kanaldichten. Um gleichzeitig durch Modularität eine Service-Freundlichkeit zu erreichen, wurde die Elektronik auf große einfach gehaltene Basisboards (50 cm lang) und komplexere Aufsteckplatinen aufgeteilt, die die vom französischen *Laboratoire de L'Accélérateur Linéaire* (LAL) entwickelten ASICS ansteuern. Im Berichtsjahr wurden alle 96 Basisplatinen und 576 Aufsteckplatinen hergestellt. Die Elektronik wird derzeit zum Test mit minimal ionisierenden Teilchen eingesetzt. Die Inbetriebnahme der Elektronik wurde vor Ort mit Vorschlägen zu einem Erdungskon-

zept des Gesamtsystems, sowie zu Testvektoren für die Elektronik unterstützt. Es hat sich gezeigt, dass auch unter Einsatzbedingungen ein Elektronikrauschen ( $0.07 \text{ pC} - \text{RMS}$ ) erreicht wurde, welches deutlich kleiner ist als das typische Signal der nachzuweisenden Teilchen ( $2.5 \text{ pC}$ ). Gleichzeitig ist ein Dynamikbereich von ca. 50 Teilchen möglich. Die Modularität des Aufbaus ermöglicht es, die Elektronik auch für den Tail-Catcher des CALICE-Experiments zu verwenden. Hierzu wurden mit einer Gruppe des Fermilab entsprechende Anpassungen geplant.

Zum automatisierten Betrieb an einem Teststrahl mit zugehöriger Überwachung des korrekten Detektorverhaltens müssen ca. 200 analoge Messsignale erfasst werden. Um die Zuführung der Messsignale an einen Rechner (SPS) zu vereinfachen, hat FEB einen Multiplexer entwickelt, der es erlaubt, bis zu 784 Kanäle auf einen analogen Ausgang zu schalten. Die Ansteuerung mit einem digitalen Pattern erlaubt einen flexiblen Einsatz auch bei anderen Überwachungssystemen. Durch geschickt geschachtelte Multiplexerstufen wurde der Crosstalk (Summe aller Kanäle auf einen Bezugskanal) von weniger als  $-64 \text{ dB}$ , beziehungsweise kleiner  $-80 \text{ dB}$  für den einzelnen Kanal auf seinen Nachbarkanal erreicht.

## Sonstige Projekte und Tätigkeiten

Die im Vorjahresbericht erwähnte Konzeptstudie zu **Pixel-Detektor-Systemen für zukünftige Experimente am XFEL und PETRA III** wurde von FEC fertig gestellt. Unter Zugrundelegung heute verfügbarer Technologien und kommerzieller Produkte konnte die technische Machbarkeit anhand eines hybriden und eines aktiven Konzeptes gezeigt werden. Ebenso wurden technische Grenzen erfasst, weitere Lösungsansätze zu deren Beseitigung benannt und eine Abschätzung hinsichtlich Kosten und Arbeitsaufwandes durchgeführt. Der im Rahmen anschließender Workshops am HASYLAB mit potentiellen Anwendern erarbeitete Anforderungskatalog fasst die Kriterien enger und erfordert daher eine weitergehende Überarbeitung dieser Konzepte. Eine abschließende und vergleichende Bewertung mit

anderen Konzepten wird Gegenstand zukünftiger Überlegungen sein.

Während des Zusammenbaus und Tests des **Si-Recoil-Detektors für das HERMES-Experiment** baute FEC einen schwingungsgedämpften Präzisionsmesstisch mit Feinpositioniersteuerung für drei Raumachsen mit jeweils ca. 30 cm Verfahrweg auf. In Verbindung mit einer optischen Mikroskop- und Kameraeinheit konnte der Gesamtaufbau des Detektors unmittelbar vor seinem Einbau mit einer Auflösung besser  $5 \mu\text{m}$  in x- und y-Richtung und besser  $10 \mu\text{m}$  in z-Richtung geometrisch vermessen werden.

FEB hat in der Vergangenheit ein universell einsetzbares **Transientenrekordersystem für HERA** entwickelt, mit dem mehrere Instrumentierungen nachgerüstet wurden. Nach fast 15 Jahren HERA-Betrieb erreichen einige Komponenten das Ende ihrer Lebensdauer. Die Transientenrekorder ermöglichen eine bessere Fehlerdiagnose und verkürzen so die Ausfallzeiten bei technischen Defekten. Die Nachfrage nach weiteren Geräten blieb über die Jahre hinweg erhalten, so dass eine Überarbeitung des ursprünglichen Designs notwendig wurde, um die Verfügbarkeit für die Zukunft sicher zu stellen. Im Jahr 2005 sind neu produzierte Geräte an die Gruppe MKK ausgeliefert worden. Bei Inbetriebnahmen, Konfigurationsänderungen, Beseitigung von Funktionsstörungen und softwaretechnischer Einbindung in Kontrollsysteme unterstützt FEB die Anwender.

Im Rahmen des HERA-Luminositäts-Upgrade wurde vor Jahren von FEB ein **Temperaturmesssystem für den HERA-Elektronen-Ring** entwickelt und installiert, das Schäden durch Überhitzung durch Synchrotronstrahlung verhindern soll. FEB unterstützt die Betreiber weiterhin bei technischen Problemen und Systemveränderungen. Auslöser dieser Aktivitäten sind häufig Isolationsschäden an den Sensoren und Kabeln die nah am Strahlrohr montiert und somit hoher Synchrotronstrahlung ausgesetzt sind.

FEA betreibt das **ECAD Systems Mentor Graphics DXDesigner / Expedition**. Im Berichtsjahr wurden zahlreiche neue Komponenten für die aktuellen Projek-

te eingepflegt, die Bedienerfreundlichkeit des Systems verbessert und Funktionalitäten erweitert.

Die Gruppe FEB hat sich bei Wartung und dem Betrieb des Quenchprotection-Systems am HERA-p-Ring beteiligt. Für die Experimente HERMES und ZEUS beteiligte sich FEB an der Wartung, Fehlerdiagnose

und Erweiterung. Für den VUV-FEL engagierte sich FEB bei Studien zu Problemen der Signalintegrität. Hierzu wurde die Elektronik des BLM modifiziert, um die Stömpfindlichkeit weiter zu reduzieren, Eigenschaften der Gesamtanlage studiert und mit Beratungen einiger Gewerke die Beschleunigereigenschaften verbessert.