



FACHBEREICH MATHEMATIK UND NATURWISSENSCHAFTEN  
FACHGRUPPE PHYSIK  
BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

**Anbindung der Detektorkontrolle des ATLAS-Pixeldetektors  
an das Datennahmesystem und die Conditions-Datenbank  
sowie  
erste Studien zur Rekonstruktion von  $K_s^0$  Zerfällen**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades  
von  
Martin Imhäuser

07. JUNI 2006  
WUB-DIS 2006-03

Diese Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20060341

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3Ahbz%3A468-20060341>]

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>1 Elementarteilchenphysik</b>	<b>3</b>
1.1 Das Standardmodell der Teilchenphysik . . . . .	3
1.1.1 Elektroschwache Wechselwirkung . . . . .	5
1.1.2 Starke Wechselwirkung . . . . .	7
1.2 Proton-Proton-Streuung . . . . .	8
<b>2 Das ATLAS-Experiment</b>	<b>11</b>
2.1 Der Large Hadron Collider . . . . .	11
2.2 Physik am LHC . . . . .	13
2.3 Der ATLAS-Detektor . . . . .	15
2.3.1 Das Myon-Spektrometer . . . . .	16
2.3.2 Das Kalorimetersystem . . . . .	17
2.3.3 Der Innere Detektor . . . . .	19
2.3.4 Das Trigger- und Datennahmesystem . . . . .	24
2.4 Online Software . . . . .	28
2.4.1 Architektur . . . . .	29
2.4.2 Information Service . . . . .	30
2.4.3 Error Reporting Service . . . . .	31
2.4.4 Kontrolle . . . . .	31
2.4.5 Zustandsmodell . . . . .	34
<b>3 Das Detektorkontrollsystem</b>	<b>37</b>
3.1 Architektur und Organisation des ATLAS Detektorkontrollsystems . . . . .	38

---

3.2	Frontend-System der Pixel Detektorkontrolle . . . . .	40
3.2.1	Sensoren . . . . .	40
3.2.2	Embedded Local Monitor Board . . . . .	42
3.2.3	Spannungsversorgungssystem . . . . .	44
3.2.4	Interlock-System . . . . .	49
3.2.5	Überblick . . . . .	52
3.3	Backend-System des Pixel Detektorkontroll-systems . . . . .	54
3.3.1	SCADA Systeme . . . . .	54
3.3.2	Das SCADA System PVSS II . . . . .	54
3.3.3	Frontend Integration Tool (FIT) . . . . .	57
3.3.4	Projektierung - die Unterteilung in Subprojekte . . . . .	60
3.3.5	Zustandsmaschine der Detektorkontrolle . . . . .	61
3.3.6	Netzwerk des Pixel Detektorkontrollsystems . . . . .	64
<b>4</b>	<b>Das System Integration Tool</b>	<b>66</b>
4.1	Das System Integration Tool 'Modul' . . . . .	66
4.2	Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	73
<b>5</b>	<b>DAQ-DCS Communication</b>	<b>75</b>
5.1	Anforderungen . . . . .	75
5.2	Schnittstelle . . . . .	77
5.2.1	Data-Transfer . . . . .	78
5.2.2	Command-Transfer . . . . .	81
5.2.3	Message-Transfer . . . . .	83
5.3	Erfahrungen mit der Schnittstelle DDC . . . . .	85
5.3.1	Integration in die ATLAS Umgebung . . . . .	86
5.3.2	DDC für das Optoboard . . . . .	88
5.3.3	Schnittstelle zur DCS Zustandsmaschine . . . . .	89
5.3.4	Messung der Übergangszeiten . . . . .	94
5.3.5	Benutzeroberflächen . . . . .	98
5.3.6	Testsystem . . . . .	103
5.3.7	Bezeichnungskonvention . . . . .	104
5.3.8	Information Service . . . . .	106

---

5.4	Zusammenfassung . . . . .	109
5.5	Ausblick . . . . .	111
<b>6</b>	<b>Die Conditions-Datenbank</b>	<b>113</b>
6.1	Anforderung . . . . .	113
6.2	Schnittstelle . . . . .	116
6.3	Speichermechanismus . . . . .	118
6.4	Erfahrungen mit der Schnittstelle . . . . .	120
6.4.1	Datenpunktstruktur . . . . .	121
6.4.2	Tabellen und Datenbank-Struktur . . . . .	130
6.4.3	Datenmenge . . . . .	131
6.4.4	Glättungsprozesse und die Notwendigkeit zur Filterung . . . . .	133
6.4.5	Extraktion der Daten . . . . .	138
6.4.6	Aufgetretene Fehler . . . . .	141
6.5	Zusammenfassung . . . . .	143
6.6	Ausblick . . . . .	144
<b>7</b>	<b>Analyse am „Combined Test Beam“</b>	<b>147</b>
7.1	Aufbau des „Combined Test Beams“ . . . . .	148
7.1.1	Referenzsystem am „Combined Test Beam“ . . . . .	148
7.1.2	Der Pixeldetektor . . . . .	149
7.1.3	Der Streifendetektor . . . . .	150
7.1.4	Der Übergangsstrahlungsdetektor . . . . .	150
7.1.5	Innerer Detektor . . . . .	151
7.2	Offline Software . . . . .	153
7.2.1	Athena Framework . . . . .	153
7.2.2	Simulation und Digitalisierung . . . . .	153
7.2.3	Rekonstruktion . . . . .	154
7.3	Analyse . . . . .	155
7.3.1	Simulation . . . . .	155
7.3.2	V0-Finder und Rekonstruktion . . . . .	155
7.3.3	Ergebnisse . . . . .	159
7.4	Zusammenfassung . . . . .	167

<b>Zusammenfassung</b>	<b>168</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>171</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>176</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>178</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>183</b>

# Einleitung

Damit Experimente der modernen Hochenergiephysik in immer kleinere Strukturen der Materie dringen können, müssen dafür immer höhere Energien aufgebracht werden. Detektoren und die zugehörigen Teilchenbeschleuniger sind dabei die einzigen Mikroskope der Physiker.

Im Jahr 2007 wird am europäischen Kernforschungszentrum CERN (Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire) mit dem Large Hadron Collider (LHC) der bislang leistungsfähigste Speicherring der Welt mitsamt vier Großexperimenten seinen Betrieb aufnehmen. Der Large Hadron Collider ist ein Ringbeschleuniger und wird Protonen als Projektile derart beschleunigen und führen, dass sie an insgesamt vier Wechselwirkungspunkten mit einer Schwerpunktsenergie von bis zu 14 TeV zur Kollision kommen.

Das ATLAS-Experiment (A Toroidal LHC Apparatus) wird mit einem Universal-detektor eines dieser Experimente sein. Der Detektor ist so ausgelegt, dass er das gesamte durch den Beschleuniger erschlossene Entdeckungspotential nutzen kann. Die Wuppertaler Arbeitsgruppe der experimentellen Hochenergiephysik beteiligt sich unter anderem mit dem Aufbau des innersten Spurdetektors, eines Pixeldetektors, an diesen Arbeiten.

Durch die steigende Komplexität und zunehmende Größe der heutigen Teilchendetektoren sind die Anforderungen an eine Überwachung und Kontrolle der Experimente nur noch durch umfangreiche und leistungsstarke Detektorkontrollsysteme zu erfüllen. Zusätzlich zu der Überwachung und Kontrolle der eingesetzten Hardware-Komponenten und der Erfassung und Prozessierung von Daten müssen Detektorkontrollsysteme einen Abgleich von Parametern aus verschiedenen Teilen des Detektors vornehmen und jederzeit die Visualisierung von Prozessabläufen durch grafische Benutzeroberflächen gewährleisten.

Neben der Einbindung der Detektorgeometrie in das Pixel Detektorkontrollsystem als geografischer Ansatz, richtet sich der Hauptaugenmerk dieser Arbeit auf die Anbindung des Pixel Detektorkontrollsystems an das ATLAS Datennahmesystem und die Behandlung der Kommunikation zwischen beiden Systemen sowie die Untersuchung einer Speichermethode von Kenngrößen in einer Conditions-Datenbank.

Nachdem in Kapitel 1 ein kurzer Überblick über die zugrunde liegende Physik gegeben wird, befasst sich Kapitel 2 mit der Beschreibung des Large Hadron Colliders

und des ATLAS-Experiments. Im Detail wird die Ausleseketten eines Detektormoduls des Pixeldetektors besprochen. Auf das ATLAS Datennahmesystem als eine weitere wichtige Komponente zur Kontrolle des Experiments wird am Schluss des Kapitels eingegangen.

Die allgemeine Architektur und die Organisation des ATLAS Detektorkontrollsystems wird in Kapitel 3 beschrieben. Anschließend werden die Komponenten des Pixel Detektorkontrollsystems vorgestellt, wobei übergeordnet die komplette Elektronik zur Energieversorgung, Messwertaufnahme und Kontrolle als das Frontend-System, die benötigten Kontrollrechner und deren Softwareentwicklungen als das Backend-System der Detektorkontrolle eingeführt werden.

Die Definition des geografischen Ansatzes innerhalb des Backend-Systems ist Thema von Kapitel 4. Darauf basierend wird ein Software-Projekt erläutert, das erstmalig eine flexible Konfiguration des Detektorkontrollsystems in den Systemtest-Aufbauten wie auch zu den Teststrahlperioden zuließ.

Kapitel 5 widmet sich der Kommunikation zwischen dem Pixel Detektorkontrollsystem und dem Datennahmesystem des ATLAS-Experiments. Nach einer Einführung in die Schnittstelle werden die vorgenommenen Arbeiten und gemachten Erfahrungen während der Teststrahlperiode 2004 („Combined Test Beam“) ausführlich erörtert. Hierbei konnte im Experiment das Pixel Detektorkontrollsystem eine Vorreiterrolle einnehmen. Ferner werden für die geplante Erweiterung des Detektorkontrollsystems im Jahr 2006 mögliche Grenzen aufgezeigt und dafür verschiedene Lösungen angeboten.

Die Anbindung der Pixel Detektorkontrolle an eine Conditions-Datenbank wird in Kapitel 6 diskutiert. Aufgetretene Probleme, die sich mit dem Einsatz der Schnittstelle ergaben, werden besprochen und Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt. Die im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Erfahrungen konnten Anfang 2006 in eine Neuentwicklung einer LHC-weiten Schnittstelle mit einfließen.

Die vorliegende Arbeit abschließend, befasst sich Kapitel 7 mit einer Analyse des Zerfalls  $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$  auf der Grundlage von simulierten Daten in der Detektorgeometrie des „Combined Test Beams“ und erörtert die daraus resultierenden Ergebnisse.

# Kapitel 1

## Elementarteilchenphysik

### 1.1 Das Standardmodell der Teilchenphysik

Das Standardmodell der Elementarteilchenphysik beschreibt die uns heute bekannten Elementarteilchen zusammen mit ihren Wechselwirkungen. So enthält es eine konsistente Beschreibung der starken, der elektromagnetischen und der schwachen Wechselwirkung in Form von Quantenfeldtheorien wie aber auch die Massen und Ladungen der Elementarteilchen.

Dabei teilt das Standardmodell die Materie in Leptonen und Quarks ein<sup>1)</sup>, die nach dem heutigen Kenntnisstand die kleinsten Bausteine der Materie ohne eine nachweisbare räumliche Struktur bilden. Die Leptonen unterteilen sich in Elektronen ( $e^-$ ), Myonen ( $\mu^-$ ) und Tau-Leptonen ( $\tau^-$ ) sowie in ihre zugeordneten Neutrinos. Bei den Quarks unterscheidet man sechs Quarktypen, für die der Begriff flavours gebräuchlich ist: (u)p, (d)own, (c)harme, (s)trange, (t)op und (b)ottom.

Diese insgesamt zwölf elementaren Fermionen sind in drei Familien nach steigenden Massen gruppiert und lassen sich innerhalb jeder Familie in einem Lepton-Dublett beziehungsweise in einem Quark-Dublett anordnen (vergleiche Tabelle 1.1). Wechselwirkungen wirken in genau der selben Weise auf jede der drei Familien. Dieses bedeutet, dass die einzelnen Familien sich nicht in ihren Wechselwirkungen, sondern nur in den Massen der entsprechenden Teilchen unterscheiden. So besitzt das Elektron als leichtestes geladenes Lepton eine Masse von 0,511 MeV. Das Myon hat eine Masse von 105,7 MeV, wohingegen das Tau-Lepton als schwerstes Lepton eine Masse von 1 777 MeV aufweist. Für die Leptonen kommen Übergänge zwischen den Familien nicht vor. Somit werden im Standardmodell die Massen der Neutrinos zu null angenommen, da sonst eine geringfügige Masse  $\neq 0$  eine Umwandlung der Neutrinosorten ineinander gestatten würde.

---

<sup>1)</sup>Leptonen und Quarks sind den Fermionen zugehörig. Als Fermionen werden alle Teilchen mit halbzahligen Spin bezeichnet.

Familie	Leptonen			Quarks		
	Symbol	Ladung	Masse [MeV]	Symbol	Ladung	Masse [MeV]
1.	$\nu_e$	0	$< 3 \cdot 10^{-6}$	u	$2/3$	$1,5 \dots 4$
	$e^-$	-1	$0,510998918 \pm 4,4 \cdot 10^{-8}$	d	$-1/3$	$4 \dots 8$
2.	$\nu_\mu$	0	$< 0,19$	c	$2/3$	$(1,15 \dots 1,35) \cdot 10^3$
	$\mu^-$	-1	$105,6583692 \pm 9,4 \cdot 10^{-6}$	s	$-1/3$	$80 \dots 130$
3.	$\nu_\tau$	0	$< 18,2$	t	$2/3$	$(174,3 \pm 5,1) \cdot 10^3$
	$\tau^-$	-1	$1776,99^{+0,29}_{-0,26}$	b	$-1/3$	$(4,1 \dots 4,9) \cdot 10^3$

TABELLE 1.1: Die Fermionen des Standardmodells: Elektron ( $e^-$ ), Myon ( $\mu^-$ ), Tau ( $\tau^-$ ) und dazugehörige Neutrinos ( $\nu$ ) sowie Up-, Down-, Charme-, Strange-, Top- und Bottom-Quark. Ebenfalls dargestellt sind elektrische Ladung wie auch Masse der Fermionen. [1]

Die Physik kennt vier Grundkräfte: die starke Wechselwirkung, die elektromagnetische Wechselwirkung, die schwache Wechselwirkung und die Gravitation. In der klassischen Physik werden die Kraftgesetze der Gravitation und der elektromagnetischen Wechselwirkung als Axiome eingeführt. In der Quantenfeldtheorie dagegen werden alle vier Kräfte, welche zwischen den Teilchen des Standardmodells wirken, durch den Austausch von virtuellen Teilchen, den Eichbosonen<sup>2)</sup>, vermittelt. Für die elektromagnetische Wechselwirkung ist dies das masselose Photon, für die starke Wechselwirkung sind es acht masselose Gluonen, wohingegen die schwache Wechselwirkung durch die massiven W-Bosonen sowie das ebenfalls massive Z-Boson vermittelt wird. Bezüglich einer Quantentheorie der Gravitation stellt das zur Zeit noch hypothetische Graviton das zugehörige Eichboson dar.

Tabelle 1.2 gibt einen Überblick über die vier Kräfte zusammen mit den zugeordneten Eichbosonen wie auch ihre relative Stärke in Bezug auf die Stärke der starken Kraft.

Wechselwirkung	koppelt an	Austauschboson	relative Stärke
elektromagnetisch	elektrische Ladung	Photon	$\sim 10^{-2}$
stark	Farbladung	8 Gluonen	1
schwach	schwache Ladung	$W^+, W^-, Z^0$	$\sim 10^{-5}$
Gravitation	Masse	Graviton (?)	$\sim 10^{-38}$

TABELLE 1.2: Die vier Grundkräfte der Physik und ihre zugeordneten Eichbosonen

<sup>2)</sup>Als Bosonen werden Teilchen mit ganzzahligem Spin bezeichnet.

Ein wichtiger Unterschied zu Vorstellungen der klassischen Physik und damit auch zu Vorstellungen der Alltagswelt ist, dass das Standardmodell sehr stark holistisch geprägt ist. Verbindet man mehrere Bausteine zu einem einzelnen neuen Gegenstand, so stellt man sich zunächst klassisch vor, dass die Bausteine immer noch im neuen Gegenstand weiter existent sind. Bei einem Zerfall des neuen Gegenstandes erhält man daher wiederum die ursprünglichen Bausteine, vergleichbar mit dem Auseinanderfallen eines Legostein-Modells.

Im Standardmodell hingegen können bei Kollision zwei Teilchen auch zu einem einzelnen neuen Teilchen fusionieren. Dieses neue Teilchen wird aber nicht mehr als aus den beiden ursprünglichen zusammengesetzt gedacht, sondern wird als ein neues Partikel angesehen. Diese Vorstellung lässt somit zu, dass das neue Teilchen bei einem Zerfall in andere Teilchen zerfallen kann, als in die, aus denen es ursprünglich entstanden ist.

### 1.1.1 Elektroschwache Wechselwirkung

Die elektroschwache Wechselwirkung ist die vereinheitlichte Theorie aus der schwachen Wechselwirkung und der Quantenelektrodynamik. Die Zusammenführung beider Theorien wurde durch Glashow, Salam und Weinberg 1967 theoretisch vollzogen und wird nach ihnen auch als GSW-Theorie bezeichnet. Eine experimentelle Bestätigung fand sich indirekt 1973 in dem Nachweis von neutralen Strömen, wie sie vom Modell hervorgesagt wurden, sowie 1983 am CERN in der Entdeckung der  $W^\pm$ - und  $Z^0$ -Eichbosonen mit genau den vorausgesagten Massen. Die elektroschwache Wechselwirkung ist als Quantenfeldtheorie neben der Quantenchromodynamik (QCD) eine der Stützen des heute bekannten Standardmodells. Abbildung 1.1 zeigt die fundamentalen Feynman-Graphen dieser Theorie.

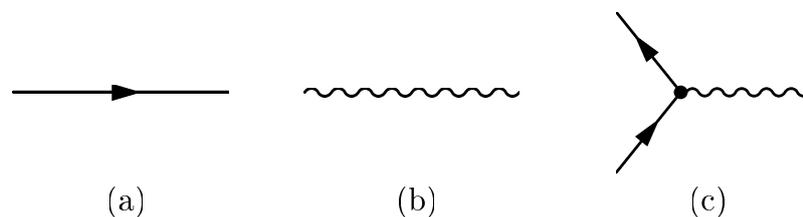


ABBILDUNG 1.1: *Fundamentale Feynman-Graphen der Quantenelektrodynamik (QED): (a) Fermionpropagator, (b) Photonpropagator und (c) Wechselwirkungsvertex*

Der elektroschwachen Wechselwirkung liegt die lokale Eichsymmetrie  $SU(2) \otimes U(1)$  zugrunde. In der ungebrochenen Theorie existieren als Eichbosonen das masselose

Isospin-Triplett  $W_\mu^1, W_\mu^2, W_\mu^3$  für die Invarianz gegen lokale Rotationen des Schwachen Isospins und das masselose Isospin-Singlett  $B_\mu$  für die Verschiebung der Phase der Leptonenwellenfunktion. Experimentelle Beobachtungen zeigen aber, dass die Eichbosonen der schwachen Wechselwirkung ( $W^\pm, Z^0$ ) massebehaftet sind, während das Eichboson der Quantenelektrodynamik ( $\gamma$ ) tatsächlich masselos ist.

Um den Teilchen Masse zu geben, führt die GWS-Theorie den Mechanismus der spontanen Symmetriebrechung ein, welcher in diesem Zusammenhang auch als Higgs-Mechanismus bezeichnet wird. Hierbei wird die Existenz eines skalaren Isospin-Dubletts, des so genannten Higgs-Feldes, gefordert:

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \phi^+ \\ \phi^0 \end{pmatrix} \quad (1.1)$$

An dieses Feld koppeln nun die Eichbosonen der elektroschwachen Wechselwirkung. Der Schwache Isospin und die Schwache Hyperladung sind nicht mehr erhalten, da die Eichsymmetrie  $SU(2) \otimes U(1)$  zur elektromagnetischen  $U(1)$ -Symmetrie gebrochen ist. Diese Brechung wird aber so vorgenommen, dass die elektrische Ladung, die sich gemäß  $Q = I_3 + Y/2$  angeben lässt, weiterhin erhalten bleibt. Daher wird die Eichsymmetrie der Quantenelektrodynamik nicht gebrochen, und das Photon ist masselos.

Die physikalisch beobachtbaren Eichbosonen der elektromagnetischen Wechselwirkung ( $\gamma$ ) und der schwachen Wechselwirkung ( $W^\pm, Z^0$ ) werden als Linearkombination oder Mischung der ursprünglichen Eichbosonen darstellbar [2]:

$$\gamma = B_\mu \cos \Theta_W + W_\mu^3 \sin \Theta_W \quad (1.2)$$

$$Z = -B_\mu \sin \Theta_W + W_\mu^3 \cos \Theta_W \quad (1.3)$$

$$W_\mu^\pm = \frac{1}{\sqrt{2}} (W_\mu^1 \mp iW_\mu^2) \quad (1.4)$$

Der Mischungswinkel  $\Theta_W$  wird als Weinberg-Winkel bezeichnet. Er folgt nicht aus der Theorie, sondern muss im Experiment bestimmt werden.

Die Massen von  $W^\pm$  und  $Z^0$  ergeben sich zu [3]:

$$M_{Z^0}^2 = \frac{e^2 \rho_0^2}{4 \sin^2 \Theta_W \cdot \cos^2 \Theta_W} \quad (1.5)$$

$$M_W^2 = \frac{e^2 \rho_0^2}{4 \sin^2 \Theta_W} \quad (1.6)$$

Dabei bedeuten  $e$  die Elementarladung und  $\rho_0$  der Vakuumerwartungswert des Higgs-Teilchen.

Somit erhält man ein masseloses Eichboson der Quantenelektrodynamik mit einer unendlichen Reichweite und drei massive Eichbosonen der schwachen Wechselwirkung mit einer kurzen Reichweite. Der Higgs-Mechanismus sagt ferner die Existenz eines neutralen skalaren Teilchens, des Higgs-Teilchens  $H^0$ , voraus, welches noch zu entdecken bleibt.

### 1.1.2 Starke Wechselwirkung

Die Quantenchromodynamik (QCD) ist die quantenfeldtheoretische Beschreibung der starken Wechselwirkung, die nach dem Vorbild der Quantenelektrodynamik (QED) entwickelt wurde. Sie enthält acht neutrale masselose Eichbosonen, die als Gluonen bezeichnet werden. Diese sind verknüpft mit den acht Generatoren der Symmetriegruppe  $SU(3)$ . Die zugrunde liegende Eichtheorie ist nicht abelsch, so dass als Konsequenz diese Theorie bei kleinen Abständen asymptotisch frei ist. Bei großen Abständen wird die Wechselwirkung stark, was das Confinement (deutsch: die Einschließung) der Quarks verursacht.

Die Gluonen koppeln an die Farbladung der Quarks. Die Farbe ist ein weiterer Freiheitsgrad der Quarks. Die drei möglichen Zustände werden mit rot, grün und blau bezeichnet. Antiteilchen besitzen die entsprechenden Antifarben. Die Gluonen selbst besitzen eine Farbladung, welche sich aus einer Farbe und einer Antifarbe zusammensetzt, und können somit auch direkt miteinander wechselwirken. Abbildung 1.2 gibt eine Übersicht der fundamentalen Feynman-Graphen der QCD.

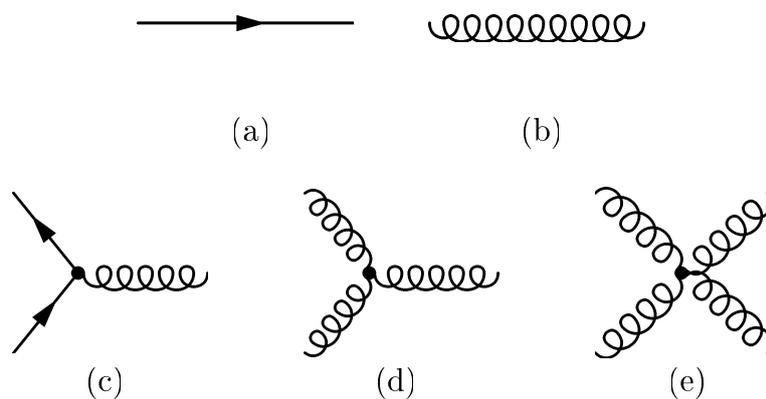


ABBILDUNG 1.2: *Fundamentale Feynman-Graphen der QCD: (a) Quarkpropagator, (b) Gluonpropagator und (c) Quark-Gluon-Vortex, (d) Drei-Gluon-Vortex und (e) Vier-Gluon-Vortex*

Am deutlichsten stellt die Messung des R-Verhältnisses in der  $e^+e^-$ -Streuung einen Nachweis für die Existenz der Farbladung dar:

$$R = \frac{\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{Hadronen})}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)} \quad (1.7)$$

Experimentell hat sich gezeigt, dass sich dieses Verhältnis sehr gut mit

$$R = \frac{\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{Hadronen})}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)} = 3 \cdot \sum_q Q_q^2 \quad (1.8)$$

zur Deckung bringen lässt.  $Q_q$  bedeutet dabei die Ladung der Quarks. Die Summierung läuft über alle Quarktypen beziehungsweise flavours, die bei einer entsprechenden Schwerpunktsenergie erzeugt werden können. Der Faktor 3, der aus der Summierung über die drei möglichen Farben herrührt, ist somit der beste unabhängige Hinweis auf Farbe.

Weitere Bestätigungen der Quantenchromodynamik, im Besonderen die Existenz von Gluonen, geben Beobachtungen im Zerfall des  $Y$ , welches nur in drei oder mehr Gluonen zerfallen kann sowie die Entdeckung der Bremsstrahlung von Gluonen durch den Nachweis von 3-Jet-Ereignissen.

## 1.2 Proton-Proton-Streuung

Bei der Erforschung der kleinsten Teilchen sind Streuexperimente das wichtigste Hilfsmittel, das der Teilchenphysik zur Verfügung steht. Lässt man ein Elektron mit seinem Antiteilchen, dem Positron, frontal und mit entgegengesetzt gleichem Impuls zusammenstoßen, so befindet sich der Massenschwerpunkt exakt in Ruhe und die für die Produktion neuer Teilchen zur Verfügung stehende Energie entspricht genau der Summe der Energien beider Teilchen. Somit ist der Ausgangszustand vollkommen bestimmt.

Dies gilt nicht mehr bei der Betrachtung von Proton-Proton-Streuung. Protonen sind Baryonen und zählen damit im Gegensatz zu den Elektronen nicht zu den Elementarteilchen. Vielmehr bestehen sie aus zwei up-Quarks und einem down-Quark und den ständig ausgetauschten Gluonen, die die Quarks zusammenhalten. Die Quarks werden als Valenzquarks bezeichnet. Darüber hinaus können die Gluonen nach Emission in Quark-Antiquark-Paaren, den Seequarks, übergehen, welche danach wieder in später absorbierte Gluonen annihilieren. Während die Valenzquarks nach dem einfachen Quark-Modell ständig im Proton vorhanden und somit verantwortlich für die experimentell beobachtbaren Eigenschaften des Protons sind, treten die Gluonen und die Seequarks nur kurzzeitig auf. Damit enthält das Proton eine zeitlich variierende Anzahl von Partonen<sup>3)</sup>.

<sup>3)</sup>Oberbegriff für Quarks, Antiquarks und Gluonen

Bei der Proton-Proton-Streuung existiert eine Vielzahl phänomenologischer Modelle, deren Gültigkeit jeweils durch einen bestimmten Energiebereich gekennzeichnet ist. Die zugrunde liegende Wechselwirkung ist die starke Wechselwirkung, so dass die Prozesse mit Hilfe der Quantenchromodynamik erklärt werden können.

Bei kleinen Energien betrachtet man die elastische Streuung, bei der die stoßenden Protonen als Ganze unversehrt erhalten bleiben. Sie erfahren lediglich eine Ablenkung, wobei nur ein kleiner Impuls übertragen wird.

Bei großen Energien kommt immer mehr die inelastische Streuung zum Tragen. Findet ein großer Impulsübertrag statt, so wechselwirken nicht mehr die Protonen, sondern die einzelnen Partonen der beiden Protonen miteinander, wobei für diese wiederum nun die elastische Streuung als Prozessbeschreibung gewählt werden kann. Dabei werden die beteiligten Partonen in großen Winkeln abgelenkt. Somit bricht die Protonenstruktur auf, und es entstehen durch Hadronisierung neue Teilchen, die sich als Bündel um eine gemeinsame Richtung gruppieren. Mögliche Streuprozesse sind in Abbildung 1.3 als fundamentale Feynman-Graphen der Proton-Proton-Streuung gezeigt.

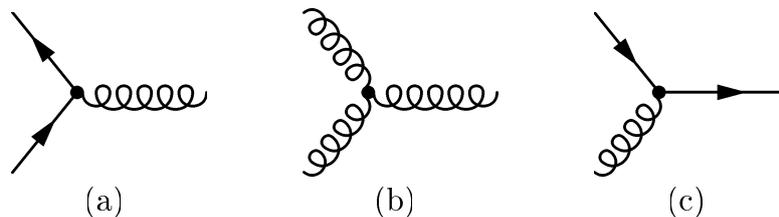


ABBILDUNG 1.3: *Fundamentale Feynman-Graphen der Proton-Proton-Streuung: (a) Quark-Antiquark-Annihilation, (b) Gluon-Gluon-Fusion und (c) Quark-Gluon-Streuung*

Im Gegensatz zur Elektron-Positron-Streuung ist durch die Streuung der Partonen der Ausgangszustand nicht mehr eindeutig bestimmt. Die einzelnen Impulse der Valenzquarks, Seequarks und Gluonen sind nicht bekannt und lassen sich nur mit Hilfe der so genannten Björken-Variablen als Bruchteil des Gesamtimpulses des Protons darstellen. Es konnte festgestellt werden, dass im Durchschnitt etwa 40% des Proton-Impulses auf die drei Valenzquarks und etwa 10% auf die Seequarks entfallen. Die restlichen etwa 50% verteilen sich auf die Gluonen (was als Hinweis auf Existenz der Gluonen angesehen wird).

Sehr viele Ereignisse bei der Proton-Proton-Streuung sind gleichwohl solche, die mit einem geringen Impulsübertrag stattfinden. Damit sind die erwarteten physikalischen Prozesse wie zum Beispiel die Erzeugung schwerer Quarks oder des gesuchten Higgs-Bosons nach theoretischen Voraussagen sehr selten. Abbildung 1.4

zeigt die Wirkungsquerschnitte unterschiedlicher Ereignisse bei einer Proton-Proton-Streuung in Abhängigkeit von der Schwerpunktsenergie.

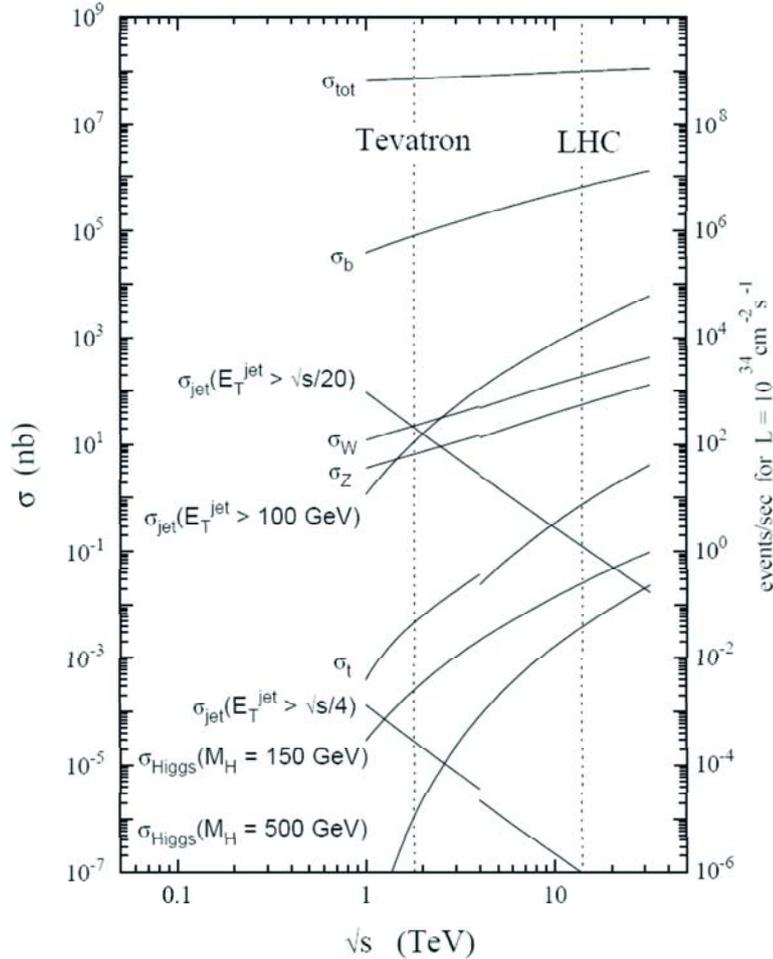


ABBILDUNG 1.4: Wirkungsquerschnitte für verschiedene Prozesse am LHC als Funktion der Schwerpunktsenergie [4]

Die angestrebte nominale Luminosität des Large Hadron Colliders (LHC) beträgt  $\mathcal{L} = 1 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , was einem totalen Wirkungsquerschnitt von etwa 100 mb entspricht. Betrachtet man allerdings die theoretisch vorhergesagten Wirkungsquerschnitte, zum Beispiel für die Produktion eines Higgs-Bosons, so beträgt dieser bei einer angenommenen Higgs-Masse von 500 GeV nur noch 1 pb. Übersetzt man dieses in die entsprechende Ereignisrate, so folgt, dass nur ein Ereignis von etwa  $10^{11}$  Ereignissen der Produktion eines Higgs-Bosons zugeordnet werden kann.

# Kapitel 2

## Das ATLAS-Experiment

In der Elementarteilchenphysik tragen grundlegend zwei sich gegenseitig ergänzende Methoden zur Weiterentwicklung der Forschung bei. So war der  $e^+e^-$ -Speicherring LEP (Large Electron Positron Collider) Grundlage für Präzisionsuntersuchungen von Teilchen und Kräften, wodurch eine Überprüfung des Standardmodells von bis dahin nicht erreichter Genauigkeit möglich war. Der Large Hadron Collider (LHC) verfolgt dagegen die Suche nach neuen Teilchen und Wechselwirkungen.

Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über die charakteristischen Eigenschaften des Large Hadron Colliders und fasst das physikalische Programm des ATLAS-Experimentes zusammen. Im Anschluss werden die Anforderungen an den Detektor diskutiert, gefolgt von einer detaillierten Beschreibung seiner Subsysteme.

### 2.1 Der Large Hadron Collider

Im Jahr 2007 wird am europäischen Kernforschungszentrum CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucleaire) mit dem zur Zeit im Bau befindlichen Large Hadron Collider der bislang leistungsfähigste Teilchenbeschleuniger seinen Betrieb aufnehmen. Der LHC ist ein Proton-Proton-Speicherring mit zwei Strahlführungsröhren und nutzt die Infrastruktur des bestehenden 26,7 km langen LEP-Tunnels. Er wird bei einer Schwerpunktsenergie der kollidierenden Protonen von 14 TeV das Tor in unbekannte Bereiche weit aufstoßen und tiefer in das Innere der Materie vordringen als bisher.

Die maximal am LHC erreichbare Energie ist hauptsächlich durch die gegebenen geometrischen und damit auch magnetischen Randbedingungen beschränkt. So steigt die Stärke des Magnetfeldes, welches nötig ist, um die Teilchenstrahlen auf ihrer Bahn im Beschleuniger zu halten, linear mit der Strahlenergie. Für die am Large Hadron Collider eingesetzten supraleitenden Dipolmagnete beträgt die höchst mögliche Feldstärke 8,33 T. Zusammen mit dem gegebenen Umfang korrespondiert dies

mit einer jeweiligen Strahlenergie von 7 TeV pro Strahl.

Da die Wirkungsquerschnitte für die erwarteten physikalischen Prozesse sehr klein sind, (vgl. Abbildung 1.4, Seite 10) muss der Fluss der kollidierenden Proton-Proton-Strahlen, das heißt die Luminosität des Beschleunigers, entsprechend groß gewählt werden.

Die Anzahl der Ereignisse pro Sekunde in einer Kollision ist gegeben durch:

$$N_{\text{Ereignis}} = \mathcal{L} \sigma_{\text{Ereignis}}, \quad (2.1)$$

wobei  $\mathcal{L}$  die Luminosität des Beschleunigers und  $\sigma_{\text{Ereignis}}$  der Wirkungsquerschnitt des untersuchten Ereignisses bedeutet.

Der Wirkungsquerschnitt ist in der Regel eine Funktion der Energie und vom untersuchten Prozess abhängig. Die Luminosität dagegen ist allein abhängig von den Parametern des Teilchenstrahls:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{4\pi} \frac{N^2 f}{t A_T}, \quad (2.2)$$

wobei  $N$  die Anzahl der Protonen pro Bunch<sup>1)</sup>,  $t$  die Zeit zwischen zwei individuellen Bunchen,  $A_T$  die transversale Ausdehnung des Bunches am Wechselwirkungspunkt und  $f$  der Anteil der Bunchpositionen, die tatsächlich Protonen enthalten, bedeuten.

Die Zeit zwischen zwei Bunchen wird durch die Zeitauflösung der teilnehmenden Experimente als auch durch die Forderung, dass keine zusätzlichen Prozesse an den Wechselwirkungspunkten stattfinden dürfen, begrenzt. Am LHC beträgt dieser zeitliche Abstand 25 ns und korrespondiert mit im Mittel 23 Wechselwirkungen pro Protonenbündel. Die transversale Ausdehnung der Pakete liegt im Bereich von einigen  $\mu\text{m}$ . Um das Befüllen des Speicherrings mit neuen Protonenpaketen zu gewährleisten, werden den in Reihe angeordneten Protonenpaketen einige leere Pakete angehängt. Damit ergibt sich bei einem zeitlichen Abstand von 25 ns eine Paketanzahl von 2835 bei 3557 möglichen. Das korrespondiert mit einem Anteil von  $f = 0,8$ .

Um die Luminosität zu vergrößern, bleibt gemäß Gleichung 2.2 nur eine Erhöhung der Protonenanzahl pro Bunch. Diese ist aber durch die die elektromagnetischen Kräfte, die zwischen den Protonen wirken, begrenzt. Daraus resultiert eine nominale Luminosität von  $\mathcal{L} = 1 \cdot 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , die erst nach einer Einführungsphase niedriger Luminosität von  $\mathcal{L} = 1 \cdot 10^{33} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  erreicht werden soll.

Die Anzahl der beobachtbaren Ereignisse ist schließlich gegeben durch:

$$N_{\text{beobachtbar}} = \mathcal{L} \sigma B_r T \epsilon, \quad (2.3)$$

wobei  $T$  die Beschleunigerlaufzeit,  $B_r$  das Verzweigungsverhältnis des zu detektierenden Zerfalls und  $\epsilon$  die Detektoreffizienz bedeuten [5].

---

<sup>1)</sup>Protonen-Paket

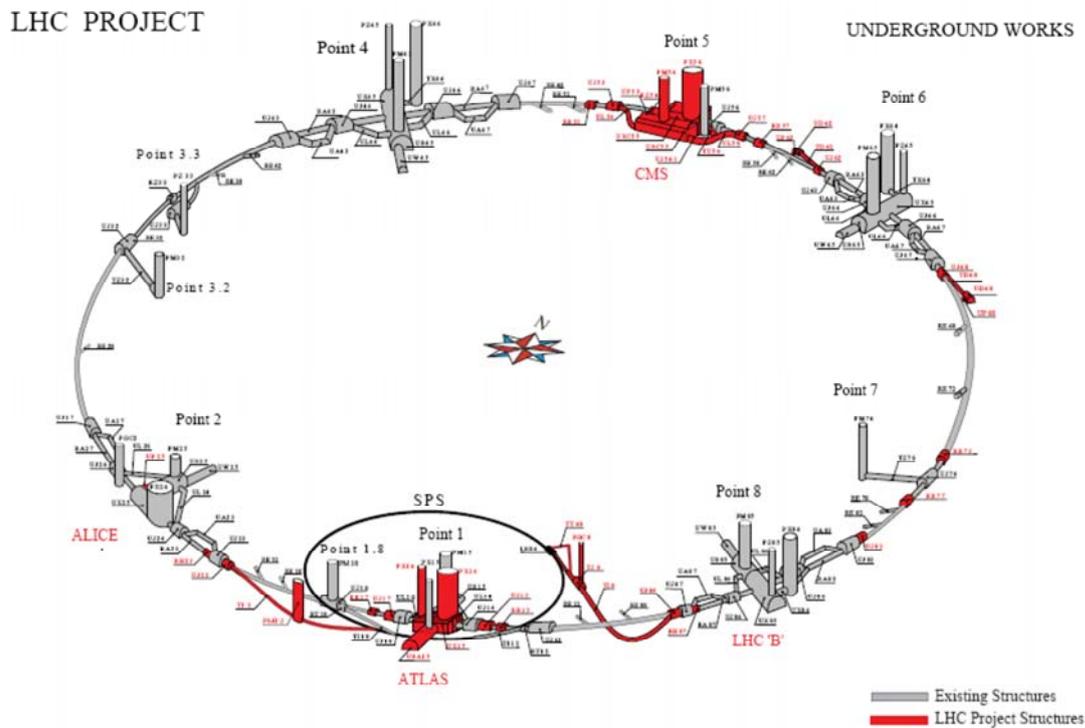


ABBILDUNG 2.1: Schematische Ansicht des Large Hadron Colliders [6]

Die ersten Protonkollisionen werden in der zweiten Hälfte des Jahres 2007 stattfinden. Abbildung 2.1 gibt eine schematische Darstellung des LHCs mitsamt der vier dort unterirdisch stattfindenden Experimente und ihrer gleichnamigen Detektoren wieder. Während es sich bei ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus) und CMS (Compact Muon Solenoid) um Universaldetektoren handelt, die eine möglichst große Bandbreite an interessanten physikalischen Prozessen untersuchen sollen, sind LHCb (Large Hadron Collider b) auf die Physik mit B-Hadronen und ALICE (A Large Ion Collider Experiment) auf Schwerionenkollisionen ausgerichtet.

Im Weiteren wird sich diese Arbeit auf das ATLAS Experiment konzentrieren.

## 2.2 Physik am LHC

Das bei weitem wichtigste physikalische Ziel des LHCs ist die Entdeckung des Higgs-Bosons des Standard-Modells und die Untersuchung seiner Eigenschaften. Die untere Massengrenze ist durch die LEP-Experimente auf 114 GeV festgelegt, die obere Massengrenze beträgt etwa 1 TeV, basierend auf theoretische Voraussagen. Die Zerfallskanäle des Higgs-Bosons sind sehr stark massenabhängig, so dass zum Nachweis unterschiedliche Kanäle zu betrachten sind.

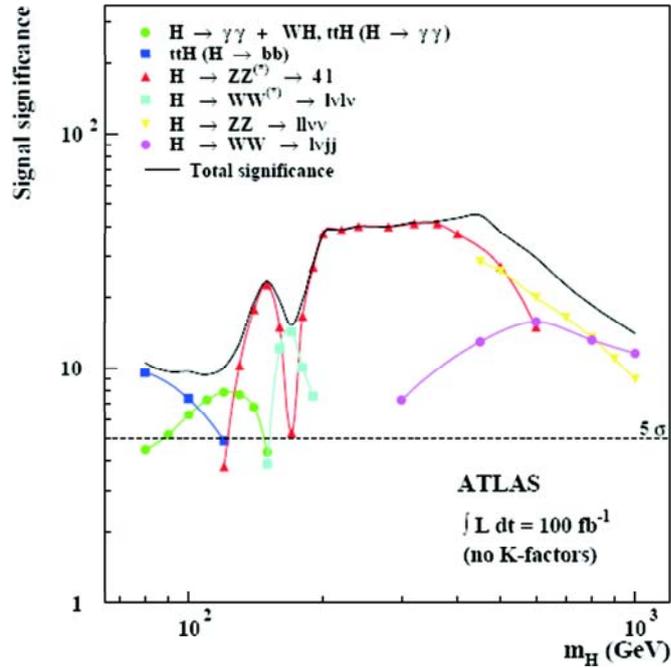


ABBILDUNG 2.2: Signifikanz für die Entdeckung des SM Higgs-Bosons in verschiedenen Kanälen als Funktion der Higgs-Masse [7]

Für den Massenbereich mit  $m_H > 130$  GeV geschieht der Nachweis über den so genannten goldenen Kanal  $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4l^\pm$  mit  $l = e$  oder  $\mu$ , da hier der Untergrund relativ klein ist. Er setzt sich größtenteils zusammen aus  $pp \rightarrow ZZ^{(*)}, Z\gamma^*$  für den irreduziblen Anteil und  $t\bar{t} \rightarrow WWb\bar{b}$  und  $Zb\bar{b}$  für den reduzierbaren Anteil. Für diesen Kanal lässt sich, bei einer integrierten Luminosität von  $\int \mathcal{L} = 100 \text{ fb}^{-1}$ , die Higgs-Masse bis zu einer Grenze von  $m_H \sim 500$  GeV sondieren. Die Zerfallskanäle  $H \rightarrow ZZ \rightarrow \nu\bar{\nu}l^+l^-$  und  $H \rightarrow WW \rightarrow \nu l j j$  erlauben eine Ausweitung bis zu einer Grenze von  $m_H \sim 1$  TeV.

Der Zerfallskanal  $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow \nu\bar{\nu}l^+l^-$  wird, trotz des großen Untergrunds bedingt durch  $WW$ - und  $t\bar{t}$ -Produktion, für den Massenbereich  $130 \text{ GeV} < m_H < 180$  GeV wichtig, da hier das Verzweigungsverhältnis für  $H \rightarrow ZZ^{(*)}$  zu klein ist. Für den Bereich kleinerer Higgs-Massen,  $m_H < 130$  GeV, ist die Situation ungemein schwieriger. Zum einen sind die Verzweigungsverhältnisse von  $H \rightarrow ZZ^{(*)}, WW^{(*)}$  äußerst klein, zum anderen wird der dominante Zerfallskanal  $H \rightarrow b\bar{b}$  praktisch vollkommen durch den QCD-Untergrund überdeckt. Übrig bleibt der sehr seltene Zerfallskanal  $H \rightarrow \gamma\gamma$  mit einem Verzweigungsverhältnis in der Größenordnung  $O(10^{-3})$  zum Nachweis.

Abbildung 2.2 zeigt eine Zusammenfassung der Entdeckungskanäle. Es ist zu erkennen, dass alle möglichen Higgs-Massen mit einer geforderten Signifikanz von  $5\sigma$  für das Signal vom ATLAS-Experiment bei einer integrierten Luminosität von  $100 \text{ fb}^{-1}$  erreicht werden können.

Des Weiteren bietet der LHC mit seiner Energieskala beste Möglichkeiten, supersymmetrische Teilchen zu finden. Eine der zugrunde liegenden Theorien, die Minimal Supersymmetrische Erweiterung des Standardmodells (MSSM), sagt insgesamt fünf Higgs-Teilchen ( $h^0$ ,  $H^0$ ,  $H^\pm$ ,  $A^0$ ) voraus.

Für das leichteste MSSM-Higgs-Teilchen  $h^0$  liegen die Berechnungen unterhalb der Massengrenze von  $\sim 130$  GeV und sollte daher, bei Existenz, gefunden werden.

Überdies sind die Suche nach schweren Leptonen und Eichbosonen, die nicht im Standardmodell enthalten sind, wie auch der Test weiterer Modelle jenseits des Standardmodells als Aufgabe der Experimente am LHC zu nennen.

## 2.3 Der ATLAS-Detektor

Der ATLAS-Detektor ist als Universaldetektor konzipiert. Dadurch ist er in der Lage, das gesamte durch den Beschleuniger erschlossene Entdeckungspotential nutzen zu können. Er gliedert sich in drei Subsysteme, das Myon-Spektrometer, das Kalorimetersystem und den Inneren Detektor. Aufgrund der in Abbildung 2.3 dargestellten zylindrischen Geometrie um die Strahlachse unterteilt sich jeder dieser Subdetektoren in einen Zentralbereich und in zwei Endkappen im Vorwärts- und Rückwärtsbereich. Bei einer Länge von 44 m und einem Durchmesser von 22 m wird der ATLAS-Detektor ein Gewicht von etwa 7000 t erreichen.

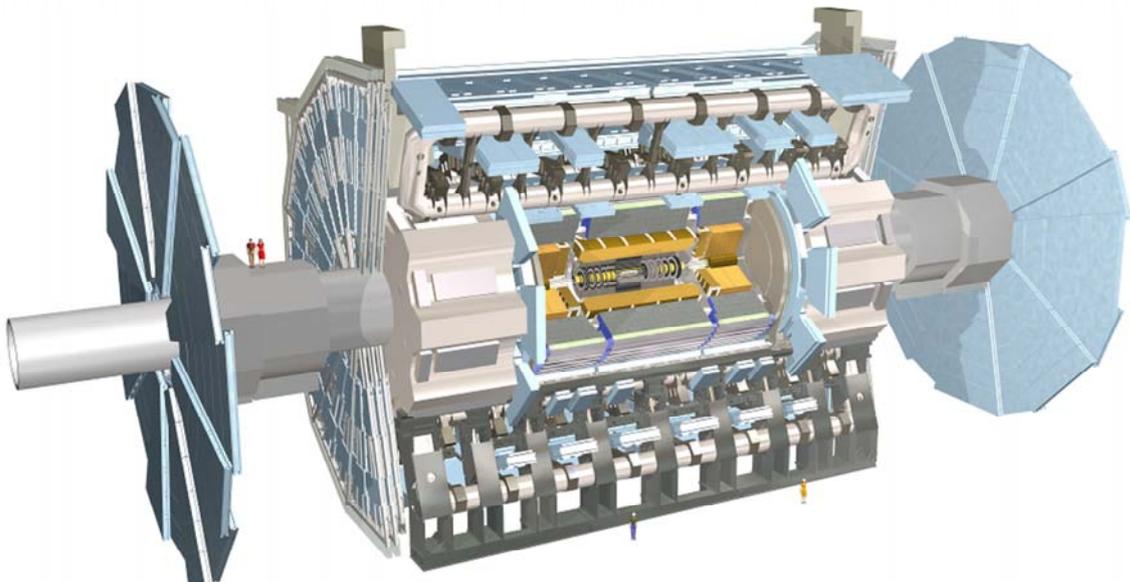


ABBILDUNG 2.3: Schematischer Aufbau des ATLAS-Detektors am LHC [6]

### 2.3.1 Das Myon-Spektrometer

Das Myon-Spektrometer ist der äußerste und mit einem Volumen von über  $16\,000\text{ m}^3$  der größte Detektor des ATLAS-Experimentes. Es dient hauptsächlich zur präzisen Vermessung der Myon-Spur, um zusammen mit dem Magnetsystem (bestehend aus acht supraleitenden Toroidspulen im zentralen Bereich und den Endkappenspulen) den transversalen Impuls zu bestimmen. Weiterhin ist es ein wichtiger Bestandteil des ATLAS Triggersystems (siehe Abschnitt 2.3.4). Um den unterschiedlichen Anforderungen zu genügen, werden insgesamt vier verschiedene Detektor-Technologien eingesetzt.

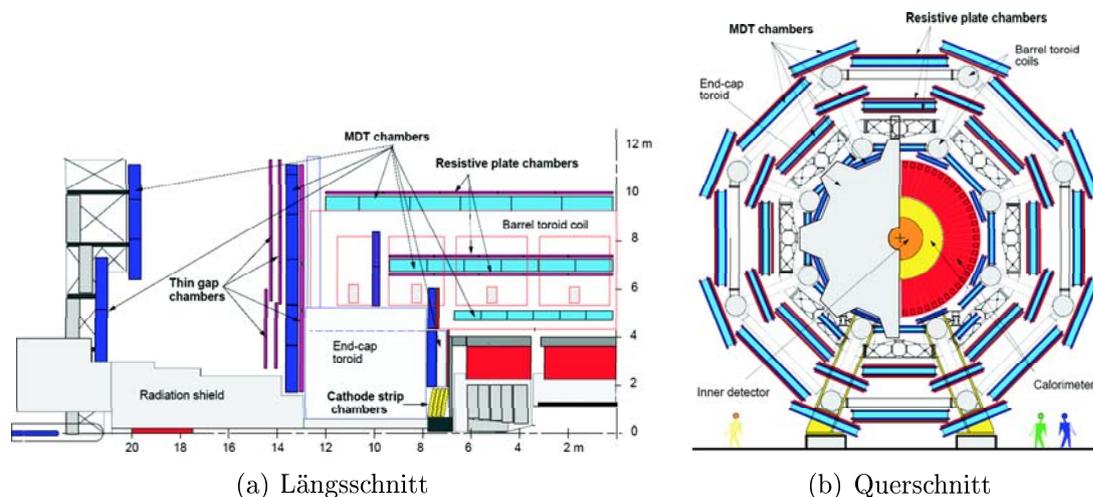


ABBILDUNG 2.4: Schnitt durch das Myon-Spektrometer [8]

Für die Präzisionsmessung der Myon-Spuren kommen in der Hauptsache Monitored Drift Tubes (MDTs) zum Einsatz. Diese bestehen aus 30 mm dicken Aluminiumröhren mit einer je nach Einsatzort variierenden Länge von 70 cm bis 630 cm. Jede dieser über insgesamt 370 000 Röhren ist mit einem Gasgemisch aus Argon und  $\text{CO}_2$  bei einem Druck von 3 bar gefüllt und besitzt einen  $50\ \mu\text{m}$  dünnen Wolfram-Rhenium-Draht in der Mitte. Die maximale Driftzeit beträgt etwa 700 ns, die Einzeldraht-Auflösung liegt bei  $\sim 80\ \mu\text{m}$ . Um diese Auflösung zu verbessern, werden die Röhren je nach Einsatzort im Experiment in Multilagenn aus drei beziehungsweise vier Röhrenlagen zusammengesetzt. Diese Multilagenn werden beidseitig auf eine Trägerstruktur montiert und bilden so eine MDT-Kammer (vergleiche Abbildung 2.5). Im Zentralbereich werden die Kammern in drei Lagen kreisförmig angeordnet, im Endkappenbereich in insgesamt vier Rädern.

Bedingt durch eine hohe Teilchenrate und damit eine hohe Strahlenbelastung in der Nähe des Wechselwirkungspunkts sind im Bereich kleiner Winkel zur Strahlachse MDTs nicht mehr einsetzbar. Daher komplettieren hier Cathode Strip Chambers (CSCs) den Aufbau. Diese basieren auf dem Prinzip der Vieldraht-

Proportionalkammern, wobei die Auslese über segmentierte Kathoden, die orthogonal zu den Anodendrähten angeordnet sind, vorgenommen wird. Erreicht werden Impulsaufösungen von 2% bei einem transversalen Impuls von  $p_T < 100$  GeV sowie von kleiner 8% bei  $p_T < 1$  TeV.

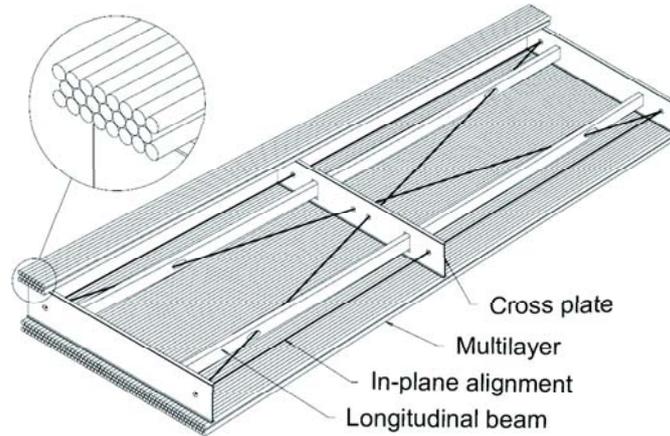


ABBILDUNG 2.5: Schematischer Aufbau des Myon-Spektrometers unter Verwendung der vier Technologien [8]

Zur schnellen Erzeugung des Triggersignals für die erste Triggerstufe des ATLAS Triggersystems werden im Zentralbereich Resistive Plate Chambers (RPCs) eingesetzt, die eine sehr gute Zeitauflösung von etwa 1 ns erreichen. Im Endkappenbereich des Myon-Spektrometers werden Thin Gap Chambers (TGCs) zur Generation des Triggersignals verwendet, deren zeitliche Auflösung mit jener der RPCs vergleichbar ist. Die Triggerkammern liefern zudem eine weitere Ortskoordinate des Teilchendurchgangs [8].

### 2.3.2 Das Kalorimetersystem

Innerhalb des Myon-Spektrometers liegt das Kalorimetersystem bestehend aus einem hadronischen und einem elektromagnetischen Kalorimeter. Das Kalorimetersystem spielt beim Erreichen der physikalischen Ziele des ATLAS-Experimentes eine wichtige Rolle. So ist zum Beispiel die Entdeckung des SM Higgs-Bosons, im Besonderen die präzise Vermessung der Zerfallskanäle  $H \rightarrow \gamma\gamma$  und  $H \rightarrow 4l$  bis zu einer Masse von  $m_H \sim 180$  GeV, abhängig vom Leistungsvermögen des Kalorimetersystems. Die kalorimetrische Energiemessung basiert auf der totalen Absorption des einfallenden Teilchens, resultierend aus einem elektromagnetischen oder hadronischen Schauer von Sekundärteilchen.

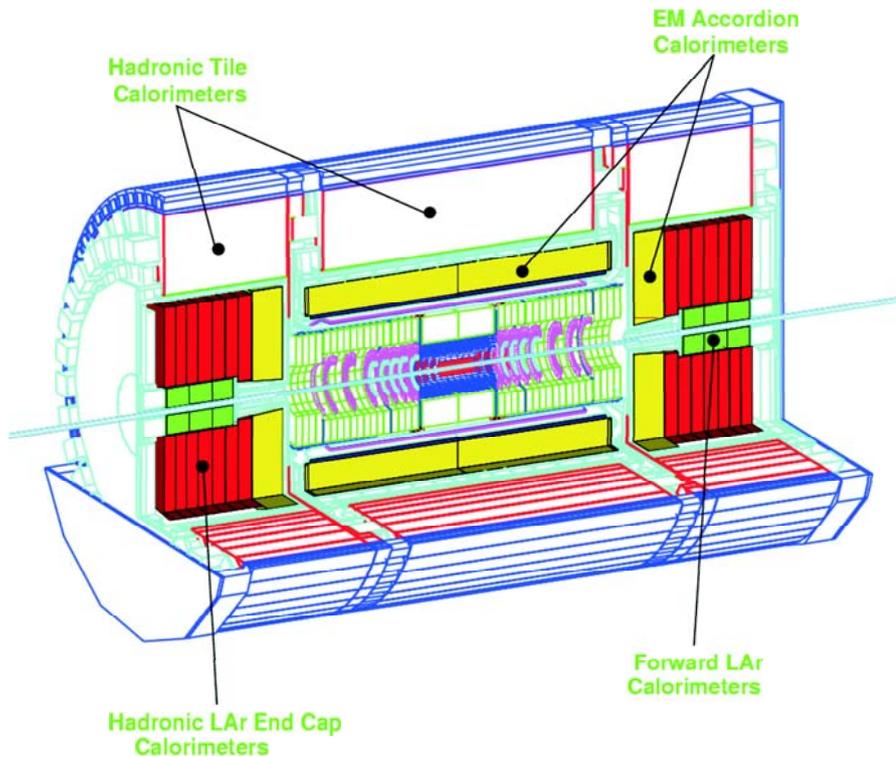


ABBILDUNG 2.6: Schematischer Aufbau des Kalorimetersystems. Gezeigt sind das elektromagnetische Flüssig-Argon-Kalorimeter, das zentrale hadronische Tile-Kalorimeter, das hadronische Tile-Kalorimeter, das hadronische Flüssig-Argon-Endkappenkalorimeter und das vorwärtige Flüssig-Argon-Kalorimeter [9].

Das hadronische Kalorimeter deckt einen Pseudorapiditätsbereich<sup>2)</sup> von  $|\eta| < 4,9$  ab, wobei unterschiedliche Technologien eingesetzt werden, um den mit  $\eta$  variierenden Anforderungen und Strahlungsbedingungen zu genügen. Es kommen ausschließlich Sampling-Kalorimeter zum Einsatz, die sich lediglich in den verwendeten Absorber- und Detektormaterialien unterscheiden.

Das so genannte Tile-Kalorimeter ist in drei Bereiche segmentiert, den Zentralbereich und zwei identische erweiterte Bereiche. Es verwendet als Absorbermaterial Stahl und als aktives Detektormaterial Plastikszintillatoren. Bei größeren Pseudorapiditäten wird eine größere Strahlungshärte erforderlich, so dass flüssiges Argon als aktives Detektormaterial eingesetzt wird. Das hadronische Endkappen-Kalorimeter (HCAL) benutzt als Absorber ausschließlich Kupfer, während das Endkappen-Kalorimeter (FCAL) Kupfer wie auch Wolfram gebraucht.

Die resultierende Körnung des hadronischen Kalorimeters beträgt  $0,1 \times 0,1$  in  $\Delta\eta \times \Delta\phi$ . Es besitzt eine gesamte Dicke von 11 Absorptionslängen bei

<sup>2)</sup>Die Pseudorapidität ist definiert als  $\eta = -\ln \tan(\Theta/2)$ , wobei  $\Theta$  der Polarwinkel bedeutet.

$|\eta| = 0$ . Die Energieauflösung ist besser als  $50\% \sqrt{E/\text{GeV}} \oplus 3\%$  für  $|\eta| < 3$  und  $100\% \sqrt{E/\text{GeV}} \oplus 10\%$  für  $3 < |\eta| < 5$ .

Abbildung 2.6 zeigt den Aufbau des hadronischen Kalorimeters zusammen mit dem innen liegenden elektromagnetischen Kalorimeter.

Das elektromagnetische Kalorimeter ist ein Akkordeon-Kalorimeter mit Absorberplatten aus Blei und Kupferelektroden auf Kaptonträgern. Die Zwischenräume sind mit flüssigem Argon als aktivem Detektormaterial gefüllt. Die akkordeonartige Anordnung gewährleistet eine vollständige azimuthale Abdeckung. Die gesamte Dicke beträgt im Zentralbereich mindestens 24 Strahlungslängen, im Endkappenbereich dagegen wenigstens 26 Strahlungslängen.

Der Zentralbereich deckt eine Pseudorapidität von  $|\eta| < 1,475$ , die identischen Endkappen einen Bereich von  $1,375 < |\eta| < 3,2$  ab. Die Dicke der Absorberplatten variiert mit der Pseudorapidität, um eine optimale Energieauflösung zu erreichen. Für den Bereich  $|\eta| < 2,5$  besitzt das System eine dreifache longitudinale Unterteilung mit einer lateralen Körnung von  $0,025 \times 0,025$  in  $\Delta\eta \times \Delta\phi$  und einer daraus resultierenden Energieauflösung von kleiner als  $10\% \sqrt{E/\text{GeV}} \oplus 0,7\%$  [9].

### 2.3.3 Der Innere Detektor

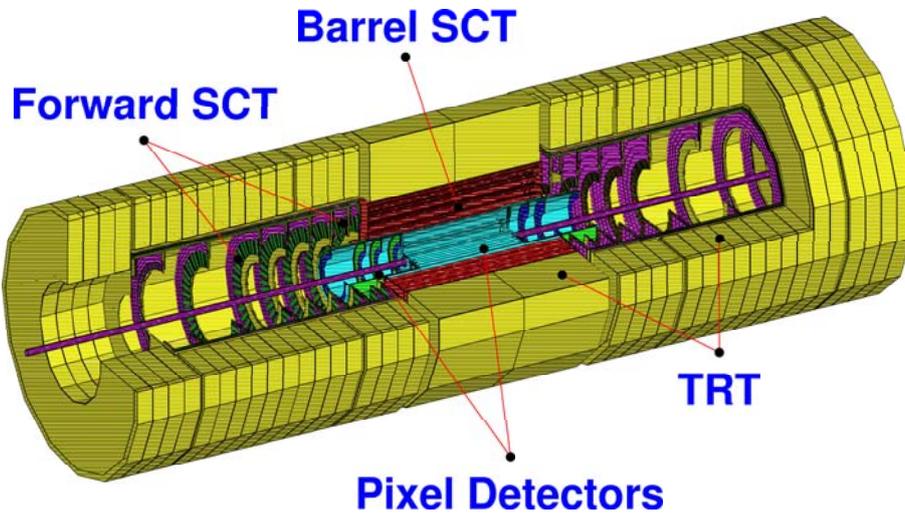


ABBILDUNG 2.7: Schematischer Aufbau des Inneren Detektors, bestehend aus dem Übergangsstrahlungsdetektor, dem Streifendetektor und dem Pixeldetektor (von außen nach innen) [10]

Der Innere Detektor liegt dem Wechselwirkungspunkt am nächsten und bildet das zentrale Spursystem des ATLAS-Experiments. Im Vordergrund steht die Rekonstruktion von Spuren der bei der primären Wechselwirkung entstandenen Teilchen

und deren möglichen Zerfallsprodukten. Der Innere Detektor ist umgeben mit einem Solenoid-Magneten, der ein homogenes Magnetfeld von 2 T in Richtung der Strahlachse erzeugt, wodurch eine Bestimmung der Ladungen und der Impulse der Teilchen sowie der Stoßparameter und der sekundären Vertices zusätzlich möglich wird. Der Innere Detektor wird, wie in Abbildung 2.7 dargestellt, aus drei eigenständigen Subdetektoren gebildet, dem Übergangsstrahlungsdetektor, dem Silizium-Streifendetektor und dem Pixeldetektor. Die gesamte Länge des Inneren Detektors beträgt 6,8 m mit einem Radius von 1,15 m [10, 11].

## Der Übergangsstrahlungsdetektor TRT

Die Basis-Detektoreinheit des Übergangsstrahlungsdetektors (TRT<sup>3)</sup>) bildet die so genannte 'Straw Tube'. Dabei handelt es sich um eine 144 mm lange und 4 mm dicke Röhre, die in der Mitte mit einem 30  $\mu\text{m}$  dicken goldbeschichteten Wolfram-Rhenium-Draht ausgestattet ist. Insgesamt ist der Übergangsstrahlungsdetektor aus etwa 370 000 dieser Straw Tubes aufgebaut, wobei etwa 50 000 davon parallel zur Strahlachse angebracht werden. Die restlichen 320 000 verteilen sich auf die insgesamt 18 Räder des Vorwärts- und Rückwärtsbereiches. Diese große Anzahl ermöglicht eine Messung von bis zu 36 Spurpunkten pro Teilchenbahn für ionisierende Teilchen. Die auf Driftzeitmessungen basierende, maximal erreichbare Auflösung beträgt dabei etwa 170  $\mu\text{m}$  pro Röhre. Eine über alle Röhren kombinierte Auflösung ergibt 50  $\mu\text{m}$  mit einem systematischen Fehler von etwa 30  $\mu\text{m}$ . Der Übergangsstrahlungsdetektor besitzt ein Gesamtvolumen von 3 m<sup>3</sup> und wird mit einem Gasgemisch aus 70% Xe, 20% CO<sub>2</sub> und 10% CF<sub>4</sub> betrieben.

Relativistische geladene Teilchen senden an Grenzflächen zwischen zwei Medien mit unterschiedlicher Dielektrizitätskonstante Übergangsstrahlung aus. Die Energie der abgestrahlten Photonen ist dabei proportional zu  $\beta = v/c$ . Dies bedeutet, dass die Übergangsstrahlung nur für hoch relativistische Elektronen und Positronen von Bedeutung ist. Dieser Effekt wird im TRI für eine zusätzliche Unterscheidung von Elektronen und Hadronen ausgenutzt. Dazu ist der Raum zwischen den Röhren im Zentralbereich mit Polypropylen/Polyethylen-Fasern und im Bereich der Räder mit PP/PET-Folien als Radiator für Übergangsstrahlung ausgefüllt. Wird zum eigentlichen Signal des Teilchens zusätzlich Übergangsstrahlung nachgewiesen, so dient das als Hinweis, dass ein Elektron beziehungsweise ein Positron das Signal ausgelöst hat [10, 12].

---

<sup>3)</sup>engl.: **T**ransition **R**adiation **T**racker (TRT)

### Silizium-Streifendetektor SCT

Der Silizium-Streifendetektor (SCT<sup>4</sup>) befindet sich innerhalb des TRTs, umschließt seinerseits den Pixeldetektor und ist damit der äußere der beiden hoch-präzisen Spurdetektoren des ATLAS-Experimentes. Der SCT besteht aus vier Lagen im Zentralbereich, welche einen Radiusbereich von 30 cm bis 52 cm in Anspruch nehmen, und jeweils neun Rädern im Vorwärts- und Rückwärtsbereich. Die Länge ist mit 279 cm festgelegt.

Lagen und Räder werden aus einzelnen Streifenmodulen zusammengesetzt. Der Zentralbereich ist aus 2112 Modulen mit einer Detektorfläche von zusammen 34 m<sup>2</sup> aufgebaut, der Endkappenbereich aus 1976 Modulen mit einer Fläche von 27 m<sup>2</sup>. Jedes Streifenmodul besteht wiederum aus vier einseitigen Silizium-Streifendetektoren, wobei je ein Paar auf der Vorder- sowie Rückseite des Streifenmoduls aufgebracht werden. Dabei werden die Paare mit einem Winkel von 40 mRad zueinander gedreht aufgeklebt, um eine zusätzliche Messung der z-Komponenten der Spur zu ermöglichen<sup>5</sup>). Jeder Streifendetektor besitzt 768 Streifen mit einer Länge von 12 cm und einem gegenseitigen Abstand von 80  $\mu\text{m}$ .

Der Silizium-Streifendetektor deckt einen Pseudorapiditätsbereich von  $|\eta| < 2,5$  ab. Er liefert vier Raumpunkte im Zentralbereich und mindestens drei Raumpunkte im Endkappenbereich. Die Auflösung beträgt in der R- $\phi$ -Ebene 14  $\mu\text{m}$ , bei Doppeltreffern kann die z-Komponente mit einer Auflösung von 580  $\mu\text{m}$  bestimmt werden.

### Der ATLAS-Pixeldetektor

Der ATLAS-Pixeldetektor liegt dem Wechselwirkungspunkt am nächsten und muss daher höchste Ansprüche hinsichtlich Spurdichte eines Ereignisses aber auch Strahlentoleranz der eingesetzten Technologie erfüllen. Daher werden hybride Pixeldetektoren eingesetzt, die neben einer hohen Auslesegeschwindigkeit den Vorteil haben, einen echten zweidimensionalen Spurpunkt zu liefern.

Aufgabe des Pixeldetektors ist die genaue Vermessung der primären wie auch sekundären Vertices mittels dreier Raumpunkte und damit auch die Identifikation kurzlebiger Teilchen aus der Bestimmung des Abstandes zwischen primären und sekundären Vertex der Zerfallsprodukte.

Der ATLAS-Pixeldetektor folgt, wie die anderen Subdetektoren auch, der Unterteilung in einen Zentralbereich und einen Endkappenbereich. Wie in Abbildung 2.8 dargestellt, wird der Zentralbereich aus drei konzentrischen Lagen bestehen, Vorwärts- und Rückwärtsbereich aus drei Rädern.

Die 78 cm lange Kohlenstoff-Trägerstruktur für die Detektormodule im Zentralbereich wird mit Stave bezeichnet. Die Anordnung der einzelnen Detektormodule auf

---

<sup>4</sup>)engl.: Semiconductor Tracker (SCT)

<sup>5</sup>)Kleine Stereowinkel bieten zudem den Vorteil, die Anzahl von Ambiguitäten in Ereignissen mit hoher Multiplizität zu reduzieren.

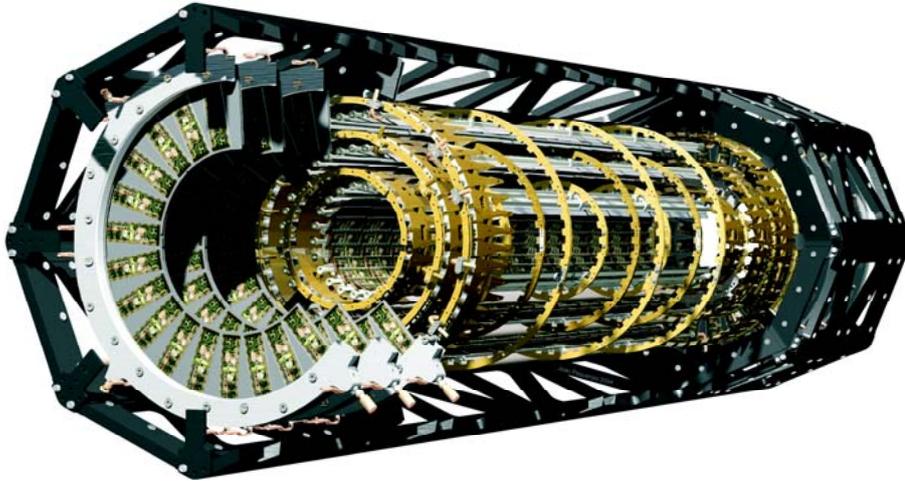


ABBILDUNG 2.8: Schematischer Aufbau des ATLAS-Pixeldetektors [13]

einem Stave sieht vor, dass jeweils die sechs Module einer Seite um einen Winkel von  $1^\circ$  zur Strahlachse gekippt sind, während das mittlere eine parallele Ausrichtung besitzt. Durch einen zusätzlichen Überlapp der Detektormodule ist gewährleistet, dass eine komplette Raumabdeckung erreicht wird.

Jedes der drei Räder des Vorwärts- und Rückwärtsbereiches wird aus jeweils acht identischen Sektoren aufgebaut. Ein Sektor stellt die Trägerstruktur des Endkappenbereiches dar und besteht aus sechs beidseitig aufgebrauchten Detektormodulen. Hier wird die vollständige Raumabdeckung dadurch erreicht, dass Vorder- und Rückseite um  $5^\circ$  gegeneinander gedreht sind.

	Radius [mm]	Anzahl Staves	Anzahl Module
B_Layer	50,5	22	286
Layer_1	88,5	38	494
Layer_2	122,5	52	676
	z-Position [mm]	Anzahl Sektoren	Anzahl Module
Rad 1	-495/ + 495	8/8	48/48
Rad 2	-580/ + 580	8/8	48/48
Rad 3	-650/ + 650	8/8	48/48
Gesamt			1744

TABELLE 2.1: Dimensionen und Zusammensetzung des ATLAS-Pixeldetektors

Tabelle 2.1 gibt einen Überblick über die Anzahl der verwendeten Staves und Sektoren wie auch die Positionen der Lagen und der Räder. Insgesamt ergibt sich eine Anzahl von 1744 Detektormodulen für den ATLAS-Pixeldetektor.

Der ATLAS-Pixeldetektor deckt einen Pseudorapiditätsbereich von  $|\eta| < 2,7$  ab. Er erreicht eine Ortsauflösung in der  $R$ - $\phi$ -Ebene von  $12 \mu\text{m}$  und in der  $z$ -Komponente eine Auflösung von  $66 \mu\text{m}$ .

### Das Detektormodul des ATLAS-Pixeldetektors

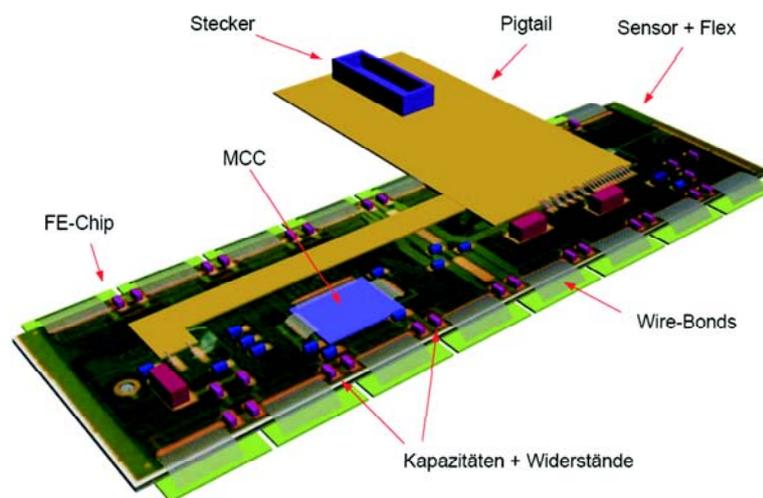


ABBILDUNG 2.9: Ansicht eines Detektormoduls des Pixeldetektors [11]

Das in Abbildung 2.9 dargestellte Detektormodul ist die kleinste eigenständige Detektoreinheit des ATLAS-Pixeldetektors. Es besteht aus einem großflächigen Siliziumsensor, der in 47232 individuelle Zellen, den Pixeln, unterteilt ist. Die Pixelgröße beträgt dabei  $400 \mu\text{m} \cdot 50 \mu\text{m}$  beziehungsweise  $600 \mu\text{m} \cdot 50 \mu\text{m}$  im Randbereich des Sensors. Jede Zelle ist über ein Blei-Zinn- oder Indium-Kügelchen mit einem der 16 Front-End-Chips<sup>6)</sup> verbunden. Diese bestehen jeweils aus 2952 Vorverstärkern, die zunächst die Sensorsignale verstärken (analoger Teil) und digitalisieren (digitaler Teil) und sie anschließend über eine flexible Kupfer-Kapton Leiterplatte<sup>7)</sup> an den Modul-Kontroll-Chip<sup>8)</sup> (MCC) weiterleiten. Der Chip sorgt für die Kommunikation mit dem Kontroll- und Datennahmesystem außerhalb des Detektors. Die elektrische Verbindung des MCCs und der FE-Chips mit dem Flex geschieht mittels  $25 \mu\text{m}$  dicker Aluminiumdrähte, den so genannten Wire-Bonds.

Vom MCC werden die digitalisierten Daten aller 16 FE-Chips in einen gemeinsamen Datenstrom zusammengefasst und über ein Kabel (Pigtail) an die optischen Wandler zur Weiterverarbeitung gesendet. Dieser ist schematisch in Abbildung 2.10 mittig gezeigt und wird als Optoboard bezeichnet.

<sup>6)</sup>Kurz mit FE-Chips bezeichnet

<sup>7)</sup>Kurz mit Flex bezeichnet

<sup>8)</sup>engl.: **Module Controller Chip** (MCC)

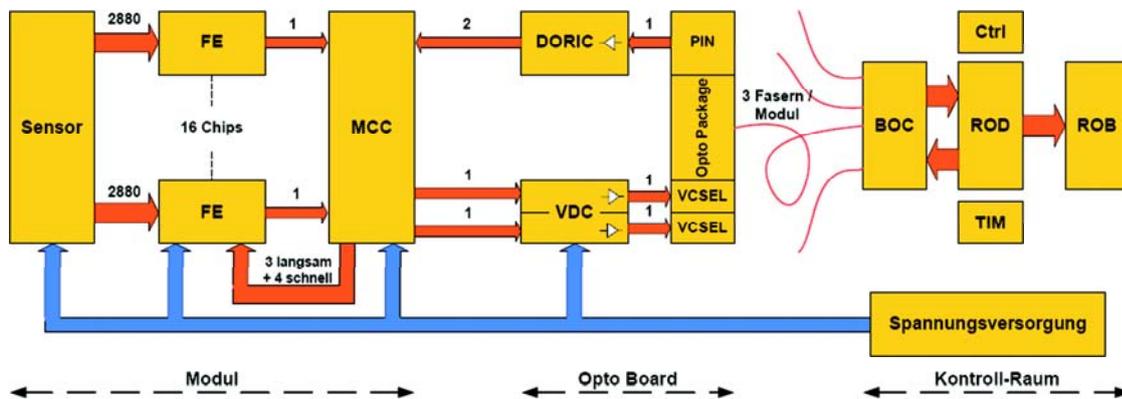


ABBILDUNG 2.10: Blockschaltbild des Auslesekonzepts des ATLAS-Pixeldetektors [11]

Das Optoboard dient als optische Schnittstelle auf der On-Detektor-Seite und ist zuständig für 6 beziehungsweise 7 Detektormodule. Auf dem Optoboard werden die elektrischen Signale durch VCSEL<sup>9)</sup> in optische Signale umgewandelt. Dabei obliegt die Kontrolle des VCSELS dem VDC<sup>10)</sup>. Der Empfang von Steuersignalen von außerhalb geschieht über die PIN-Diode<sup>11)</sup>. Sie empfängt Informationen zur Konfiguration der Module zusammen mit dem Systemtakt und leitet diese weiter an den DORIC<sup>12)</sup>-Chip, der Daten und Taktsignale voneinander trennt und an die Module weitergibt [11].

Vom Optoboard werden die optischen Signale über Glasfaserkabel zum Auslesesystem geschickt. Dort sorgt die Back of Crate Karte (BOC) für die Rückwandlung der optischen Signale in elektrische Signale. Sie dient daher auf der Off-Detektor-Seite als optische Schnittstelle zum ROD<sup>13)</sup>. Dieser ist zuständig für die Dekodierung der Daten und Formatierung der Daten in Ereignis-Fragmente.

### 2.3.4 Das Trigger- und Datennahmesystem

Für den kohärenten Betrieb der verschiedenen Subdetektoren des ATLAS-Experimentes sind im Wesentlichen drei separate Einheiten notwendig: das Triggersystem, die Datenacquisition (DAQ) und das Detektorkontrollsystem (DCS). Diese

<sup>9)</sup>engl.: Vertical Cavity Surface Emitting Laser (VCSEL)

<sup>10)</sup>engl.: VCSEL Driver Chip (VDC)

<sup>11)</sup>engl.: Positive Intrinsic Negative Diode (PIN)

<sup>12)</sup>engl.: Digital Opto Receiver IC (DORIC)

<sup>13)</sup>engl.: Readout Driver (ROD)

drei Systeme werden in einem gemeinsamen Verbund, dem ATLAS TDAQ System, zusammengefasst [4].

Nachdem eine kurze Beschreibung des Trigger- und Datennahmesystems, gefolgt von einem Überblick über die Online-Software, das vorliegende Kapitel abschliessen, wird im darauf folgenden Kapitel 3 das Detektorkontrollsystem näher beschrieben. Die Kommunikation zwischen DCS und DAQ ist Thema von Kapitel 5.

## Das Trigger- und Datennahmesystem

Am Large Hadron Collider werden sich bei nominaler Luminosität alle 25 ns im Mittel 23 Proton-Proton-Kollisionen ereignen. Anders ausgedrückt entspricht dies bei einer Strahldurchdringungsrate<sup>14)</sup> von 40 MHz in etwa einer Interaktionsrate von  $10^9$  Hz. Über 200 Millionen Auslesekanäle liefern dabei eine Rohdatenmenge von etwa 40 TByte/s.

Es ist Aufgabe des Triggersystems, aus dieser Vielzahl an Kollisionen die seltenen und physikalisch interessanten Ereignisse, wie zum Beispiel der Zerfall eines Higgs-Bosons, mit hoher Effizienz herauszufiltern. Außerdem soll es die immense Datenrate um einen Faktor  $10^7$  auf etwa 100 Hz zu reduzieren, um eine Aufzeichnung der Daten auf Speichermedien technisch überhaupt erst zu ermöglichen. Um dies zu erreichen, ist für das ATLAS-Experiment ein dreistufiges Echtzeittriggersystem (LVL1, LVL2 und LVL3) definiert, welches schematisch in Abbildung 2.11 dargestellt ist. In mehreren Schritten werden die Daten gefiltert und nur potentiell interessante Ereignisse zur späteren Analyse gespeichert.

### Level 1 Trigger (LVL1)

Der Level 1 Trigger benutzt zur Selektion Daten mit reduzierter Granularität, welche lediglich aus Teilen des Myon-Spektrometers und des Kalorimeter-Systems stammen und von den dortigen Triggern ausgewählt wurden. Dabei handelt es sich um die Identifikation von Myonen mit hohem transversalem Impuls innerhalb des Myonensystems. Hinsichtlich der Kalorimeter wird auf hochenergetische Jets, elektromagnetische Cluster, fehlende Energie wie auch  $\tau$ -Leptonen geschaut. Der LVL1 akzeptiert Daten mit der vollen Rate von 40 MHz. Die entsprechende Hardware ist so ausgelegt, dass eine Selektion physikalisch interessanter Ereignisse innerhalb von  $2 \mu\text{s}$  stattfindet, womit die Datenrate auf etwa 100 kHz reduziert wird. Diese Zahl wird begrenzt durch die verschiedenen Auslesesysteme der Subdetektoren wie auch durch den Level 2 Trigger.

Während der Entscheidungsphase wird die gesamte Datenmenge aller Subdetektoren in speziellen Speichern (Pipeline Memories), die sich auf der Frontend-Elektronik befinden, zwischengespeichert. Die Entscheidung zur Selektion basiert auf einer wähl-

---

<sup>14)</sup>Auch als 'bunch crossing rate' bezeichnet

baren Kombination von Objekten, die sich in Koinzidenz zueinander befinden müssen. Der Level 1 Trigger muss dabei die eindeutige Identifikation des 'bunch crossings', welches das physikalisch interessante Ereignis enthält, gewährleisten wie auch die Entscheidungsphase auf ein zeitliches Minimum reduzieren.

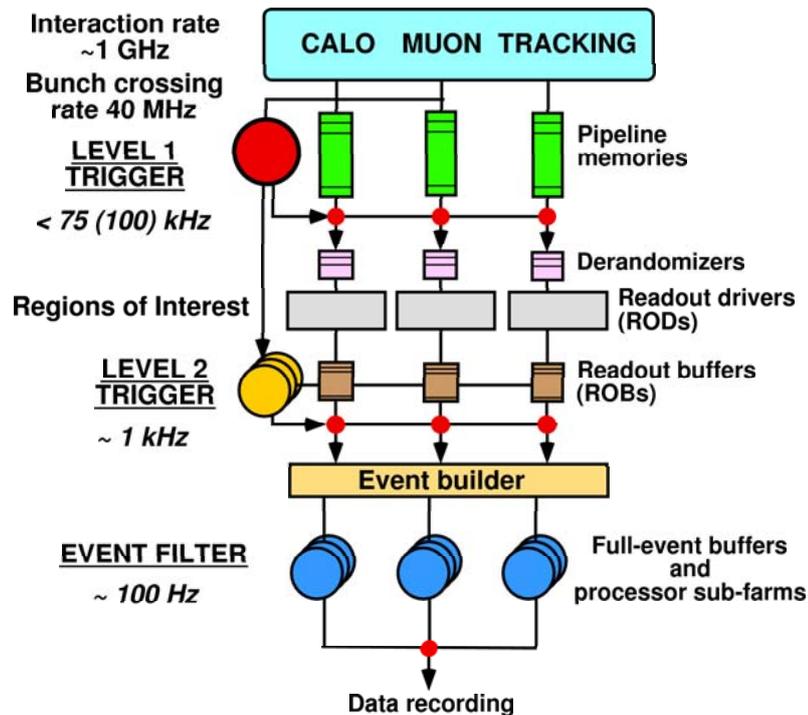


ABBILDUNG 2.11: Schematische Darstellung des dreistufigen Triggersystems des ATLAS-Experimentes [12]

## Level 2 Trigger (LVL2)

Ereignisse, die vom LVL1 ausgewählt worden sind, werden zunächst aus dem Frontend-System der Detektoren in die Readout Driver (RODs) transferiert und von dort in die Readout Buffer (ROBs) weitergeleitet.

Der Level 2 Trigger nimmt zur weiteren Selektion die so genannten 'Region of Interest' (RoI) Informationen zur Hilfe. Diese werden vom Level 1 Trigger zur Verfügung gestellt und beinhalten Angaben über die Positionen und  $p_T$ -Bereiche potentieller Kandidaten interessanter Physik (high- $p_T$ -Myonen, Elektronen/ $\gamma$ , Hadronen/ $\tau$  und Jets). Dadurch muss nur ein kleiner Bruchteil der in den ROBs hinterlegten Datenmenge verarbeitet werden, um eine Trigger-Entscheidung treffen zu können.

Der Level 2 Trigger reduziert die Datenrate von 100 kHz nach der ersten Stufe auf etwa 1 kHz mit einer variablen Wartezeit im Bereich von 1 ms bis 10 ms in Abhängigkeit vom betrachteten Ereignis. Im Gegensatz zum Level 1 Trigger steht dieser

Triggerstufe die volle Datengranularität aller Subdetektoren zur Verfügung. Diese wird so lange in den ROBs gehalten, bis der LVL2 entschieden hat, ob die Daten verworfen oder an die dritte Triggerstufe übergeben werden.

### Level 3 Trigger (LVL3) oder Event Filter

Nachdem ein Ereignis vom LVL2 akzeptiert worden ist, werden die Daten mittels des Event Builders<sup>15)</sup> aus den Readout Buffern (ROBs) in ein Prozessor-Netzwerk mit einer Rechenleistung von etwa  $10^6$  MIPS<sup>16)</sup> transferiert. Dort benutzt der Event Filter, ein Software-System mit speziell entwickelten Algorithmen, den vollen Datensatz zusammen mit Kalibrations- und Alignmentdaten, um die endgültige Selektion für die Offline-Analyse zu verwirklichen. Im Level 3 Trigger dient eine komplette Rekonstruktion des Ereignisses als Entscheidungsgrundlage, ob ein Ereignis ausgewählt oder wieder verworfen wird. Die dafür benötigte Zeit beträgt etwa 1 s. Die vom LVL3 selektierten Ereignisse werden abschließend mit einer Rate von 10 – 100 Ereignissen pro Sekunde (entspricht 10 – 100 Hz) gespeichert. Die erwartete Datenmenge beträgt dabei im Durchschnitt 10 – 100 GByte/s, was äquivalent zu einer voraussichtlichen aufgezeichneten Datenmenge von 1 PByte pro Jahr ist.

### Das Datennahmesystem

Das Datennahmesystem (DAQ) verwaltet die Verteilung der Daten von den Readout Drivern (RODs) bis hin zu den Massenspeicher-Systemen. Es ist ferner für die Überwachung und Kontrolle der Datennahme zuständig. Daher lässt es sich in zwei Hauptkomponenten unterteilen: das Data-Flow System und die Online Software [4].

Das Data-Flow System stellt die Funktionalität zur Verfügung, die notwendig ist, um die Detektordaten von den Readout Drivern (RODs) zu holen und zwischenspeichern, die Ereignisdaten an den High Level Trigger<sup>17)</sup> zu verteilen wie auch die ausgewählten Daten dem Massenspeicher-System zuzuführen. Diese Funktionalität wird durch vier Komponenten des Data-Flow Systems bewerkstelligt. Das *Readout Subsystem* empfängt und puffert die Daten, die von den RODs kommen. Das *LVL2 Data-Flow Subsystem* verwaltet den Datenfluss und den Informationsaustausch innerhalb der zweiten Triggerstufe. Der *Event Builder (EF)* erfasst alle von den RODs kommenden Datenfragmente, die einem bunch crossing zugeordnet sind und bildet daraus ein komplettes und formatiertes Ereignis. Das *EF I/O* übergibt die Ereignisse dem Event Filter und sendet die selektierten Daten weiter an das Massenspeicher-System [4, 14].

<sup>15)</sup>Er fasst die einzelnen Datenfragmente der Subdetektoren zu einem Ereignis zusammen.

<sup>16)</sup>engl.: Million Instructions Per Second (MIPS)

<sup>17)</sup>Unter dem Begriff High Level Trigger fasst man den Level 2 Trigger und den Level 3 Trigger (Event Filter) zusammen.

Die Online Software kontrolliert das gesamte Experiment indem sie die Steuerung der Runs übernimmt, das Trigger- und Datennahmesystem konfiguriert sowie die einzelnen Partitionen des Detektors (vergleiche Abschnitt 2.4.4) handhabt. Da die Online Software für die in Kapitel 5 (DAQ-DCS Communication) behandelte Schnittstelle zwischen dem Datennahmesystem (DAQ) und dem Detektorkontrollsystem (DCS) als Hintergrund dient, wird diese im nächsten Abschnitt ausführlicher behandelt.

## 2.4 Online Software

Der Verbund der Online Software beinhaltet die notwendige Software, um das ATLAS TDAQ System<sup>18)</sup> zu konfigurieren, zu kontrollieren und zu überwachen, nicht aber, wie bereits erläutert, um für die Prozessierung und Weiterleitung der physikalischen Daten zu sorgen.

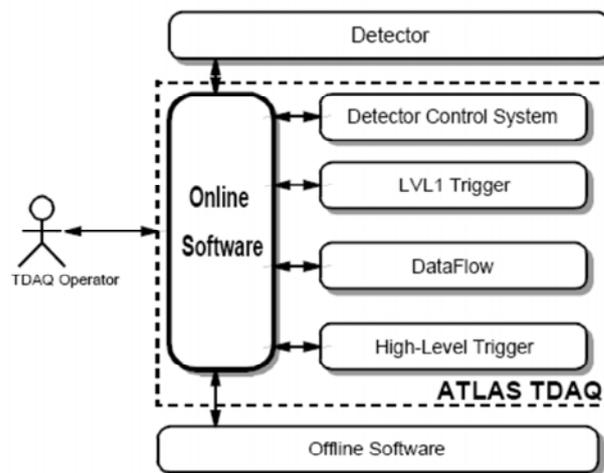


ABBILDUNG 2.12: Einbettung der Online Software in das TDAQ System [4]

Nach Abbildung 2.12 besitzt die Online Software Verbindungen zum Auslesesystem des Detektors, zum Detektorkontrollsystem, zum LVL1 Trigger, zum Data-Flow System, zum High Level Trigger sowie zur Offline Software. Zu beachten ist, dass sie selbst keine detektorspezifische Konfiguration enthält.

Eine wichtige Aufgabe der Online Software ist die Bereitstellung von Diensten, um zunächst das sichere Hoch- und Runterfahren des Experiments in einer wohldefinierten Reihenfolge zu gewährleisten. Darüber hinaus obliegt ihr die Synchronisation und Überwachung der unterschiedlichen Zustände eines Runs. Während der eigentlichen

<sup>18)</sup> Verbund aus ATLAS Trigger, Datenacquisition und Detektorkontrollsystem

physikalischen Datennahme muss sie Zugriff auf Überwachungsparameter geben sowie auf Fehler- und Diagnosemeldungen reagieren.

Der Status des gesamten TDAQ Systems ist über grafische Benutzeroberflächen abrufbar. Ferner sind die Kontrolle und die Konfiguration des Systems möglich [4].

### 2.4.1 Architektur

Der Verbund der Online Software besteht aus unterschiedlichen Komponenten, die sich nach ihrer jeweiligen Funktion auf drei Bereiche aufteilen:

#### 1. Informationsaustausch

Dieser Bereich beinhaltet Dienste, um Informationen, wie zum Beispiel Fehlermeldungen, Daten und Zustände aus den Subsystemen des Detektors oder Histogramme, im TDAQ System zu verteilen.

#### 2. Datenbanken

Anwendungen, die für die Konfiguration des TDAQ Systems und des Detektors zuständig sind, bilden diesen Bereich. Unter anderem gibt es Dienste, die den Zugriff auf die detektorspezifischen Daten geben und eine Anpassung der Konfiguration auf Änderungen im System erlauben.

#### 3. Kontrolle

Hier finden sich die Komponenten wieder, die für die Kontrolle des TDAQ Systems zuständig sind. Es stehen Anwendungen für die Verteilung von Kontrollbefehlen, Möglichkeiten zur Fehlerbehandlung oder Systemprüfung zur Verfügung.

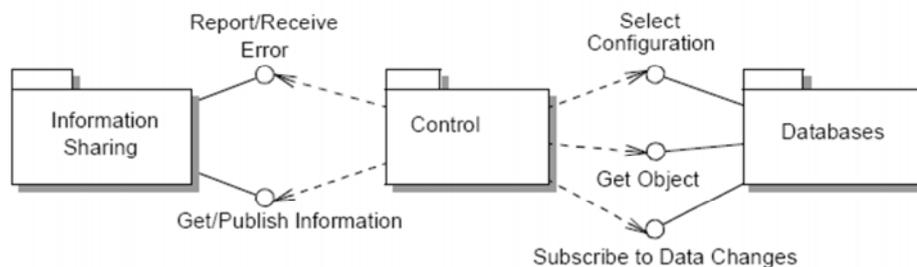


ABBILDUNG 2.13: *Interaktion zwischen den Online Software Bereichen [4]*

Abbildung 2.13 stellt die Kommunikation zwischen den drei Bereichen dar. Ersichtlich ist, dass in erster Linie der Block Kontrolle von den beiden anderen Gebrauch macht. So wird der Bereich Datenbank dazu genutzt, um das System zu konfigurieren und zu kontrollieren, aber auch die in Abschnitt 2.4.4 näher beschriebenen

Partitionen und Segmente des TDAQ Systems zu beschreiben. Das Umfeld Informationsaustausch wird gebraucht, um jederzeit Informationen über den Status oder die Reaktion des Systems zu erhalten sowie dem Benutzer Fehlermeldungen zur Verfügung zu stellen.

Im Folgenden wird auf die für diese Arbeit direkt relevanten Dienste (siehe Kapitel 5) detailliert eingegangen. Diese sind aus dem Bereich Informationsaustausch die Dienste Information Service und Error Reporting Service und aus dem Bereich Kontrolle der Dienst Run Control. Informationen zu weiteren Komponenten aus den drei Bereichen finden sich unter [4] und [15].

## 2.4.2 Information Service

Mittels des Dienstes Information Service (IS) ist es möglich, benutzerdefinierte Informationen zwischen den Software Komponenten auszutauschen.

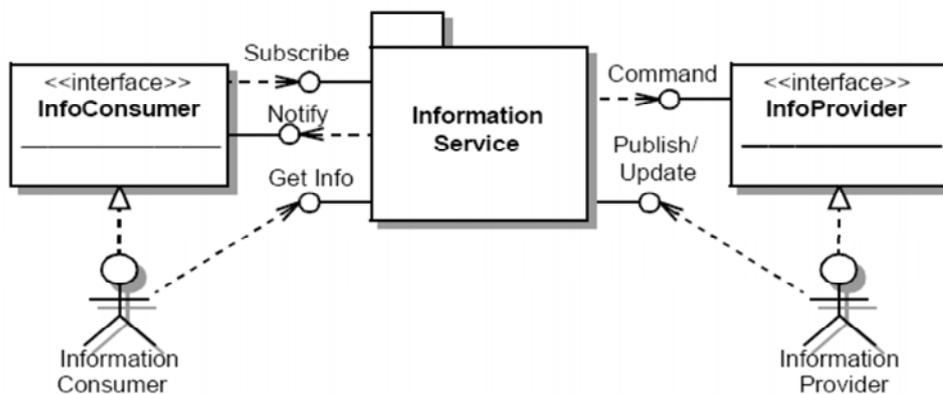


ABBILDUNG 2.14: Schnittstellen zum Information Service [4]

Nach Abbildung 2.14 kann eine Applikation über die Verknüpfung 'Publish' ihre Information für andere Anwendungen bekannt machen. Über die Anbindung 'Update' wird der Information Service über Änderungen in den zuvor bekannt gemachten Informationen benachrichtigt. Hierbei wird zwischen zwei Methoden unterschieden. Ist die Schnittstelle 'InfoProvider' nicht Teil einer Anwendung, so muss diese von sich aus den Information Service über alle Änderungen informieren; ist dagegen die Schnittstelle in die Applikation eingebaut, so wird der IS nur dann über eine Änderung benachrichtigt, wenn dies über die Anbindung 'command' angefordert wird. Für eine Anwendung, die Informationen einholen will, stehen dafür ebenfalls zwei Möglichkeiten zur Verfügung. So reicht eine Anfrage über die Verknüpfung 'Get Info' aus, um einmalig eine Information zu erhalten. Eine Integration der Schnittstelle

'InfoConsumer' ist nicht notwendig. Soll eine ständige Benachrichtigung über Informationsänderungen erfolgen, geschieht das über die Verknüpfung 'Subscribe' und durch Einbetten der Schnittstelle in die entsprechende Applikation.

### 2.4.3 Error Reporting Service

Der Dienst Error Reporting Service (ERS) erlaubt den Transport von Fehlermeldungen aus Software Komponenten, die einen Fehler erfasst haben und melden müssen, zu allen Applikationen, für die diese Meldungen wichtig sind.

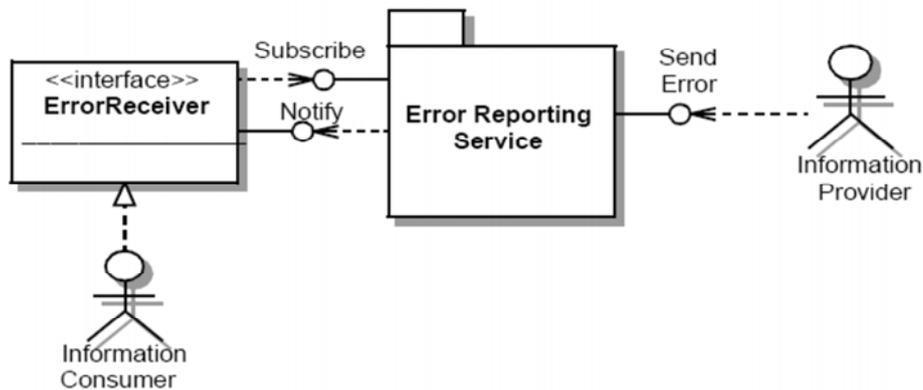


ABBILDUNG 2.15: Schnittstellen zum Error Reporting Service [4]

Nach Abbildung 2.15 kann eine beliebige Applikation über die Anbindung 'Send Error' eine Fehlermeldung in den Error Reporting Service absetzen. Um wiederum eine Fehlermeldung erhalten zu können, muss eine Anwendung die Schnittstelle 'ErrorReceiver' integriert haben. Dabei besteht die Möglichkeit, bestimmte Meldungen nach ihrer Gewichtung<sup>19)</sup> auszuschließen. Das Kriterium dafür wird über die Anbindung 'subscribe' gesetzt.

### 2.4.4 Kontrolle

Nach [16] ist unter einem Run die Zeitspanne zu verstehen, in der ein Teil des TDAQ Systems unter stabilen Bedingungen Daten nimmt. Unterschiedliche Kategorien von Runs sind für das ATLAS Experiment definiert, wobei die Einteilung direkte Auswirkung auf die allgemeine Konfiguration des TDAQ Systems hat. So beansprucht die Kategorie 'Physics Run' den kompletten ATLAS Detektor und das gesamte TDAQ

<sup>19)</sup>Zurzeit sind folgende Gewichtung möglich: fatal, error, warning, information, diagnostic, success.

System. Als weitere Gruppen sind 'Detector calibration with beam' sowie 'Detector calibration without beam' vorgesehen. Die Kategorie 'Detector commissioning' erfordert, dass ein Subdetektor oder der gesamte Detektor seinen Betriebszustand erreicht. Die Elemente Level 1 Trigger oder High Level Trigger brauchen nicht notwendigerweise Teil dieser Art von Run sein.

Das macht deutlich, dass der Kontrolle des gesamten Experiments ein flexibles Partitionskonzept zugrunde liegen muss, um zum einen den alleinigen Betrieb eines Subdetektors zu Kalibrationszwecken oder zur Fehlersuche zuzulassen, und um zum anderen den kompletten Betrieb für eine gleichzeitige Datennahme zu ermöglichen. Basierend auf [17, 18] lässt sich die Kontrolle und damit auch das TDAQ System zur Zeit wie folgt unterteilen:

- **TTC Partition** – Eine TTC<sup>20)</sup> Partition beinhaltet einen Teil des TTC Systems sowie den zugehörigen Teil des ROD-BUSY Feedback Trees<sup>21)</sup>. Sie macht es einem Subdetektor möglich, mit den ATLAS Zeit- und Triggersignalen zu arbeiten oder unabhängig davon mit ihren eigenen. Daher ist ein gleichzeitiger Betrieb von Bereichen des Detektors mit unterschiedlichen Triggermethoden denkbar.
- **TDAQ Partition** – Eine TDAQ Partition ist ein Subsystem des TDAQ Systems mit dem Ziel der physikalischen Datennahme. Sie beinhaltet die komplette Funktionalität und stellt diese jeweils einem bestimmten Teil des Detektors zur Verfügung. Eine TDAQ Partition bezieht sich auf eine oder mehrere TTC Partitionen.
- **TDAQ Segment** – Ein TDAQ Segment ist definiert als die kleinste Einheit von Elementen des TDAQ Systems, welche unabhängig vom Rest noch konfiguriert und kontrolliert werden kann. Ein Segment kann ferner dynamisch in eine aktive TDAQ Partition eingefügt und wieder entfernt werden, ohne dass der Run gestoppt werden muss. Als Beispiele für ein TDAQ Segment seien hier ein einzelnes Readout System (ROS) oder ein Readout Driver (ROD) Crate genannt.
- **TDAQ Resource** – Unter einer TDAQ Resource versteht man Elemente, die individuell ausgeschaltet, eventuell auch wieder angeschaltet werden können, ohne den Datennahmeprozess zu unterbrechen. Ein einzelner Readout Driver (ROD) lässt sich als TDAQ Resource verstehen.

Ein großer Vorteil dieser Partitionierung beruht darauf, dass TDAQ Partitionen, welche für einen Teil des Detektors zuständig sind, parallel und ohne Einschränkung ihrer Funktionalität zu betreiben sind.

<sup>20)</sup>engl.: Timing, Trigger and Control (TTC)

<sup>21)</sup>Es handelt es sich um ein hierarchisch angeordnetes Netzwerk, welches das BUSY-Signal von den Readout Drivern (RODs) empfängt und es an den Central Trigger Processor (CTP) weiterleitet. Dort wird das Signal für den Level 1 Trigger generiert.

TDAQ und TTC Partitionen definieren, wie das TDAQ System tatsächlich unterteilbar ist. So besitzt der Pixeldetektor voraussichtlich drei TTC Partitionen, je eine für die Endkappen, den Barrel und den B\_Layer [17], so dass nie mehr als drei TDAQ Partitionen gleichzeitig in Bezug auf den Pixeldetektor betrieben werden können.

Das Grundelement des Bereiches Kontrolle ist der so genannte Controller. Ein System besteht in der Regel aus einer festgelegten Anzahl von Controllern. Sie sind in einer baumähnlichen Struktur organisiert, wobei ein Controller mehrere untergeordnete Controller besitzen kann, während er selbst Element eines übergeordneten Controllers ist. Auf der obersten Ebene findet sich der Root Controller, der das gesamte System abgleicht und die Hauptkontrolle besitzt.

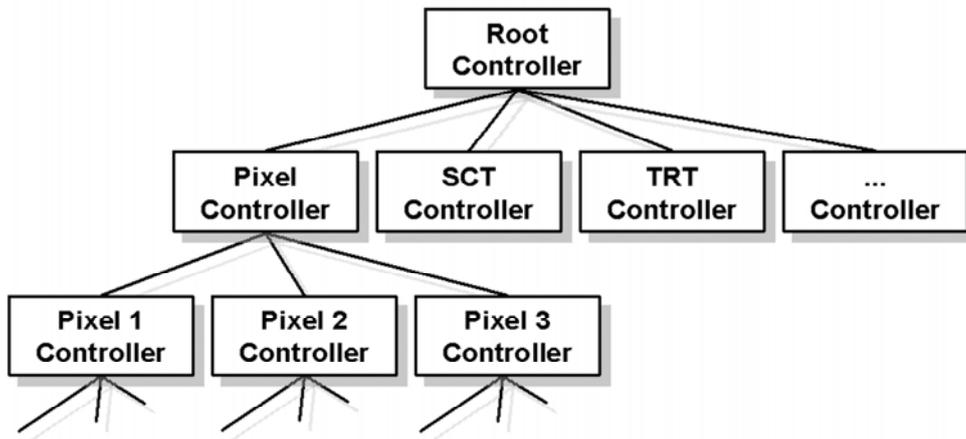


ABBILDUNG 2.16: Hierarchie der Online Software Kontrolle

Bezogen auf das ATLAS Experiment finden sich vier prinzipielle Ebenen wieder (vergleiche Abbildung 2.16). Demnach besitzt der Root Controller die Kontrolle über das gesamte TDAQ System. Die nächste Ebene bilden die Controller der einzelnen Subdetektoren. Diese sind für die Überwachung und Ansteuerung der jeweiligen subdetektorspezifischen Hardware- und Software-Komponenten zuständig. Auf der dritten Ebene ist die Kontrolle jener Bereiche, die mit einer TTC Partition korrespondieren, zu finden. Die letzte Ebene ist verantwortlich für die tatsächlich vorhandene Hardware des Subdetektors, wie zum Beispiel ein Readout System (ROS).

Die Beschreibung eines Controllers im TDAQ System erfolgt über einen wohldefinierten Zustand. Jeder Controller kann Befehle entweder aus der übergeordneten Ebene oder direkt vom Benutzer erhalten. Ein Teil der Befehle bezieht sich auf den Zustand und veranlasst den Controller zu einer Zustandsänderung. Dabei werden Routinen abgearbeitet und der Befehl an die untergeordneten Controller weitergeleitet. Ein Übergang in einen neuen Zustand ist erreicht, wenn alle untergeordneten Elemente ihre Übergänge vollzogen haben.

Durch Verknüpfung des Partitionierungskonzeptes mit der hierarchischen Anordnung der Controller lässt sich nun jedem TDAQ Segment ein Controller zuordnen. Jeder Controller ist für die Verwaltung seines zugehörigen Segmentes zuständig. Somit obliegt ihm die Initialisierung sowie das Abschalten beziehungsweise Beenden der Hardware- und Software-Komponenten des Segments. Ferner lässt sich die funktionale Unterteilung des Detektors in Partitionen und Segmente mit dem Zustandsmodell der zusammenschalteten Controller beschreiben.

Der Dienst Run Control aus dem Bereich Kontrolle basiert auf diesem Zustandsmodell und kann als Zustandsmaschine aufgefasst werden. Er ist zuständig für die komplette Kontrolle eines Runs, beginnend bei der Initialisierung bis hin zum Herunterfahren, wobei sich über grafische Benutzeroberflächen einstellen lässt, wie die physikalischen Daten zu nehmen sind. Zur Steuerung werden Befehle über den Root Controller von einem Benutzer entgegengenommen und im TDAQ System an die untergeordneten Elemente weitergeleitet. Dabei hat dieser Dienst auch für die Synchronisation zwischen den einzelnen Subsystemen zu sorgen. Ferner muss er unter Auswertung ihrer Zustände einen Gesamtstatus des TDAQ Systems bilden und diesen dem Benutzer aufzeigen.

Run Control kann somit in dem oben beschriebenen System aus mehreren Partitionen betrieben werden, die unabhängig und gleichzeitig physikalische Daten nehmen.

### 2.4.5 Zustandsmodell

Das Grundprinzip der Zustandsmaschine 'Run Control' zeigt Abbildung 2.17(a). Jeder Zustand hat einen definierten Satz von Übergängen, der das System in einen anderen Zustand bringt. Die drei TDAQ Hauptzustände sind 'initial', 'configured' und 'running'. Sonderzustände sind 'paused' und 'checkpoint'. Nur diese lassen sich über die in Abbildung 2.17(b) gezeigten grafischen Benutzeroberfläche als Benutzer gewollt erreichen. Die weiteren Zustände sind so genannte versteckte Zustände und sind für den Benutzer nicht sichtbar. Sie werden eingefügt, damit alle Prozesse in wohldefinierter Form aufeinander abgestimmt werden können. Es muss zum Beispiel die komplette Konfiguration für alle Elemente eingelesen sein, bevor die Elemente konfiguriert werden können. Das macht in der Zustandsänderung von 'initial' nach 'configured' den Zwischenschritt 'loaded' nötig.

Die in Tabelle 2.2 aufgeführten Übergänge, zusammen mit ihren Auswirkungen im DAQ System, sind zur Zeit im TDAQ System mit dem Dienst Run Control möglich [20]. Alle Übergänge sind auch für das Detektorkontrollsystem gültig, da dieses, wie eingangs erwähnt, ebenfalls Bestandteil des TDAQ Systems ist.

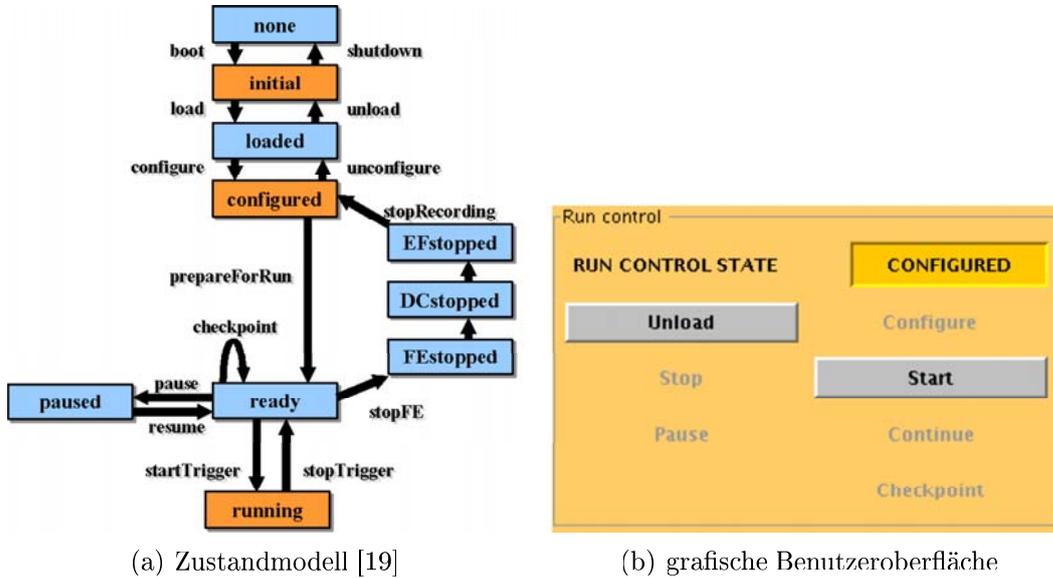


ABBILDUNG 2.17: Zustandsmaschine 'Run Control'

Benutzerbefehl	Befehl	Auswirkung
boot	boot	Initialisierung der gesamten Software Infrasruktur wie Controller, Dienste oder Datenbankzugriff
configure	load	Einlesen der Konfiguration für die Software und Hardware aus den Datenbanken
	configure	Konfiguration der Software und und Hardware; Aufbau der Kommunikation
start	prepareForRun	Einlesen von geänderten Einstellungen, wie die Runnummer; Abschlussinitialisierung
	startTrigger	Rücknahme des Signals 'busy' für den Trigger
stop	stopTrigger	Setzen des Signals 'busy' für den Trigger
	stopFE	Stoppen der FrontEnd-Elemente
	stopDC	Stoppen der DataCollection-Elemente
	stopEF	Stoppen der EventFilter Applikationen
pause	stopRecording	Stoppen von Sub-farm Output Applikationen
	pause	Aufruf von Kalibrations-Applikationen möglich
resume	resume	Aufruf von Kalibrations-Applikationen möglich
	startTrigger	Rücknahme des Signals 'busy' für den Trigger
checkpoint	stopTrigger	Setzen des Signals 'busy' für den Trigger
	checkpoint	Aufruf von Kalibrations-Applikationen möglich
	startTrigger	Rücknahme des Signals 'busy' für den Trigger

TABELLE 2.2: Übergangsbefehle der Zustandsmaschine 'Run Control', zusammen mit den Auswirkungen auf das TDAQ System



# Kapitel 3

## Das Detektorkontrollsystem

Durch die steigende Komplexität und zunehmende Größe der heutigen Detektoren in der Hochenergiephysik sind die Anforderungen an eine Überwachung und Kontrolle der Experimente nur noch durch umfangreiche und leistungsstarke Detektorkontrollsysteme (DCS<sup>1</sup>) zu erfüllen.

Ihre Aufgabenstellungen sind vielschichtig:

- Überwachung und Kontrolle der eingesetzten Hardware-Komponenten
- Erfassung und Prozessierung von Daten
- Abgleich von Parametern aus verschiedenen Teilen des Detektors
- Visualisierung von Prozessabläufen durch grafische Benutzeroberflächen
- Ausführung von Befehlen für standardisierte Prozeduren, wie die Fehlerbehandlung
- Kommunikation mit externen Systemen wie dem Datennahmesystem
- Speicherung von Kenngrößen in einer Datenbank
- Automatisierte Konfiguration der Systemkomponenten

Im Folgenden wird zunächst die allgemeine Architektur und Organisation des gesamten ATLAS Detektorkontrollsystems beschrieben. Anschließend werden die Komponenten des Pixel Detektorkontrollsystems vorgestellt, wobei übergeordnet die komplette Elektronik zur Energieversorgung, Messwertaufnahme und Kontrolle als das Frontend-System, die benötigten Kontrollrechner und deren Software als das Backend-System des Detektorkontrollsystems bezeichnet werden.

---

<sup>1</sup>engl.: **D**etector **C**ontrol **S**ystem (DCS)

### 3.1 Architektur und Organisation des ATLAS Detektorkontrollsystems

Wie in Abschnitt 2.4.4 beschrieben, unterliegt das TDAQ System einem Partitionierungskonzept, nach dem die kleinste Aufteilung eines Subdetektors in TTC Bereiche erfolgt. Ein Detektorkontrollsystem muss, als Teil des TDAQ Systems, diesem Konzept folgen. Daher setzt sich das ATLAS Detektorkontrollsystem ebenfalls aus voneinander getrennten Bausteinen zusammen, die für die Überwachung und Kontrolle der einzelnen Subdetektoren und Subsysteme zuständig sind. Jede dieser Kontrollinstanzen greift dabei auf gemeinsame Ressourcen zurück. So ist zum Beispiel die Benutzung einer globalen Datenbank zur Speicherung von Kenngrößen oder ein einheitliches Fehlermeldesystem zwingend notwendig.

Um das Experiment als Ganzes betreiben zu können, bedarf es einer übergeordneten Kontrolle. Daher wird das ATLAS Detektorkontrollsystem hierarchisch aus allen teilnehmenden Kontrollelementen der Subdetektoren und Subsysteme aufgebaut. Dabei dienen drei unterschiedliche Hierarchie-Ebenen, definiert nach ihrer jeweiligen Aufgabenstellung und Funktionalität, als Grundlage.

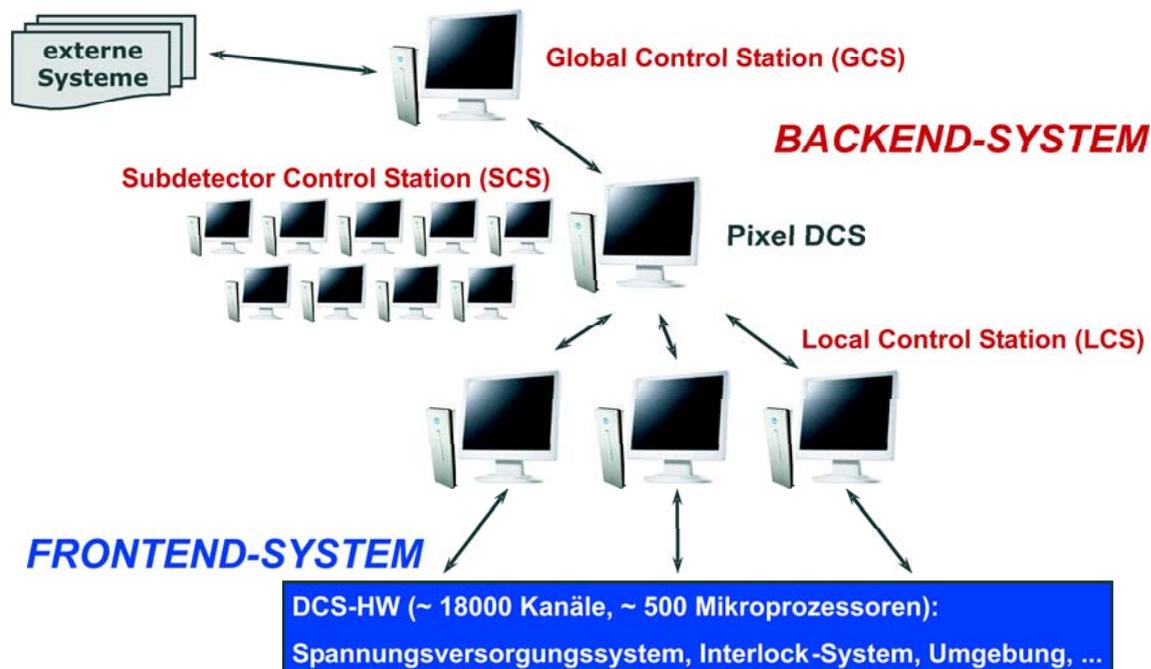


ABBILDUNG 3.1: Hierarchische Organisation des ATLAS Detektorkontrollsystems

- **Global Control Station (GCS)**

Die oberste Ebene dient als Schnittstelle zwischen dem Detektorkontrollsystem und dem Betreiber im Experiment. Sie bildet die oberste Entscheidungsinstanz und besitzt damit auch die Hauptkontrolle über die Subdetektoren. Von hier werden Befehle an die Subdetektoren und Subsysteme verteilt und der Zustand des gesamten Detektors überwacht. Sämtliche Daten müssen von hier abrufbar und, falls vorgesehen, änderbar sein. Weiterhin lassen sich die untergeordneten Kontrollinstanzen von hier aus sperren oder freigeben. Des Weiteren stellt diese Ebene eine Reihe von Diensten zur Verfügung. Neben der Bereitstellung der Verbindung zu den externen Systemen wie dem CERN Sicherheitsdienst und der LHC Maschine sorgt sie für die Kommunikation mit dem Datennahmesystem während eines 'Physics Run'. Es stehen grafische Benutzeroberflächen für die Darstellung der Zustände der Subdetektoren und der externen Systeme zur Verfügung.

- **Subdetector Control Station (SCS)**

Die Kontrollstationen der mittleren Ebene bilden den jeweiligen Gesamtstatus des zugehörigen Subdetektors und übermitteln diesen an die GCS. Des Weiteren erfolgt hier die Archivierung der zusammengefassten Informationen. Sie dienen der Koordination und Synchronisation von Diensten auf Subdetektorebene. Als untergeordnete Kontrollelemente werden sie von der GCS gesteuert. Die wichtigste Eigenschaft dabei ist, dass alle subdetektorspezifischen Befehle, die von der übergeordneten Global Control Station aus möglich sind, ebenfalls direkt auf der mittleren Ebene ausführbar sind. Damit ist die Voraussetzung geschaffen, dass der Subdetektor unabhängig von den anderen Subdetektoren als eigenständige Kontrollinstanz uneingeschränkt betrieben werden kann. Jede einzelne SCS ist somit zuständig für die Ausführung von automatisierten Prozeduren und Aktionen, die nur für diesen Subdetektor gültig sind. Ferner dient die SCS auf Subdetektorebene als Anknüpfungspunkt der Schnittstelle für die Kommunikation zwischen DCS und dem Datennahmesystem (siehe Kapitel 5). Des Weiteren müssen grafische Benutzeroberflächen für die Steuerung und Darstellung des Subdetektors vorhanden sein.

- **Local Control Station (LCS)**

Die unterste Ebene dient der Überwachung und Kontrolle des DCS Frontend-Systems. Von hier aus werden die entsprechenden Hardware-Komponenten ausgelesen oder gesetzt. Ferner bietet sie die Möglichkeit, Rohdaten zu speichern sowie Vorab-Kalkulationen oder Datenkonversionen vorzunehmen. Eine eventuelle Fehlerbehandlung wird von hier an die übergeordnete Subdetector Control Station gemeldet.

Die oben beschriebene Anordnung gliedert sich somit in eigenständige Subsysteme, die unabhängig voneinander entwickelt, gewartet und betrieben werden können.

Wichtig für die Implementierung ist, dass der Informationsfluss, Daten sowie Befehle, in der Regel nur senkrecht in der Hierarchie erfolgen darf. Ein horizontaler Austausch zwischen den einzelnen Subsystemen – auf den Ebenen der SCS sowie der LCS – ist nicht gestattet oder auf ein Minimum zu beschränken.

Die Architektur des Detektorkontrollsystems und die Technologien, die für die Implementierung gebraucht werden, sind stark durch die benötigte Funktionalität und durch äußere Bedingungen geprägt. So besteht das Detektorkontrollsystem zum einen aus einem verteilten Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) System, welches sich auf mehr als 100 Computer erstrecken wird und im weiteren Verlauf als Backend-System bezeichnet wird. Zum anderen beinhaltet das so genannte Frontend-System sämtliche Versorgungs- und Ausleselemente [14].

Die Wuppertaler Arbeitsgruppe hat den kompletten Aufbau eines Detektorkontrollsystems für den Pixeldetektor übernommen. Dieses umfasst die Einbindung kommerzieller Hardware und die Entwicklung pixelspezifischer Hardware des DCS Frontend-Systems (siehe Abschnitt 3.2) in das Detektorkontrollsystem sowie die Schaffung eines eigenständigen Backend-Systems (siehe Abschnitt 3.3), welches auf der mittleren und unteren Ebene angesiedelt ist.

## 3.2 Frontend-System der Pixel Detektorkontrolle

Im Pixel Detektorkontrollsystem wird an vielen Stellen hauptsächlich eine Auslese-Elektronik verwendet (Abschnitt 3.2.2), die die ATLAS-DCS-Kollaboration allen Subdetektoren zur Verfügung stellt. Darüberhinaus ist allerdings der größte Anteil der Hardware des Frontend-Systems im Pixel Detektorkontrollsystem auf den Pixeldetektor zugeschnitten. So beinhaltet das Frontend-System neben kommerziellen Spannungsversorgungen auch eigen entwickelte Komponenten zur Versorgung (Abschnitt 3.2.3). Es schließt ein beträchtliches Sicherheitssystem (Abschnitt 3.2.4) mit ein, dessen Bestandteile teilweise auch von anderen Subdetektoren eingesetzt werden.

### 3.2.1 Sensoren

#### Temperatursensor

Die Module des Pixeldetektors entwickeln unter Bestrahlung eine sehr hohe Störanfälligkeit gegenüber Temperaturerhöhungen, womit eine fortdauernde Temperaturüberwachung eine der Hauptaufgaben des Pixel Detektorkontrollsystem ist. Durch die notwendige Platzierung der Temperatursensoren auf den Detektormodulen sowie deren Verteilung im Inneren des Detektors muss diese Art von Sensor äußerst strahlenhart sein und möglichst wenig zusätzliches Material einbringen.

Für die Bestimmung der Temperatur kommen daher temperaturabhängige Widerstände, so genannte NTC<sup>2)</sup>-Widerstände oder auch Heißleiterwiderstände, zum Einsatz. Heißleiterwiderstände bestehen zumeist aus einer Mischung von oxidierten Mischkristallen und Metalloxiden, die unter Beigabe von Bindemitteln gesintert werden, wobei sich über das Mischungsverhältnis der Widerstandsbereich und somit das Temperaturintervall einstellen lässt. Sie besitzen, wie schon aus der Bezeichnung folgt, einen negativen Temperaturkoeffizienten, was bedeutet, dass ihr Widerstand mit zunehmender Temperatur abnimmt. Durch die in der Regel sehr kleinen Abmessungen<sup>3)</sup> besitzen sie den Vorteil, dass sie sich sehr schnell an Temperaturänderungen der Umgebung angleichen können.

Im Experiment wird jedes der 1744 Detektormodule durch einen eigenen Temperatursensor überwacht. Ferner werden etwa 200 Sensoren die Temperaturen der Detektormodulumgebung sowie anderer Strukturen innerhalb des Pixeldetektors, wie zum Beispiel die Ein- und Auslässe der Kühlröhrchen, kontrollieren (näheres zur Auslese siehe Abschnitt 3.2.4).

Mit einem Widerstandswert von 10 k $\Omega$  bei Raumtemperatur und einer Veränderung von  $-4\%$  pro Kelvin sind die Zuleitungswiderstände bei der Bestimmung des Widerstands vernachlässigbar. Die Messung des Widerstands kann daher nach dem Spannungsteiler-Prinzip erfolgen und wird durch eine weitere Komponente des Frontend-System durchgeführt. Die Umrechnung des so ermittelten Widerstandwertes in eine Temperatur erfolgt innerhalb des Temperaturbereiches von  $-40^\circ\text{C}$  bis  $+125^\circ\text{C}$  nach der Steinhart-Hart-Gleichung [22]:

$$T[\text{K}] = \{A_0 + A_1 \cdot \ln(R_{\text{NTC}}) + A_3 \cdot \ln^3(R_{\text{NTC}})\}^{-1}, \quad (3.1)$$

wobei  $R_{\text{NTC}}$  der ermittelte Widerstand und  $A_0$ ,  $A_1$ ,  $A_3$  Materialkonstanten bedeuten. Für die gesamte Auslekette wird dabei eine Genauigkeit von  $\pm 0,5$  K erreicht [21].

### Feuchtesensor

Bedingt durch die tiefe Betriebstemperatur des Pixeldetektors von  $-10^\circ\text{C}$  im späteren Experiment kann es durch Abkühl- und Aufheizphasen zur Bildung von Kondenswasser innerhalb des Detektors kommen und damit eine Zerstörung der empfindlichen Elektronik nach sich ziehen. Daher sind zur Bestimmung des Taupunkts Feuchtesensoren innerhalb des Pixeldetektors verteilt. Das Pixeldetektorkontrollsystem wird diese Parameter aber nur auslesen und an das Detector Safety System (DSS) des inneren Detektors zur Auswertung beziehungsweise zur dortigen Bildung eines Vetos weiterleiten.

<sup>2)</sup>engl.: Negative Temperature Coefficient (NTC)

<sup>3)</sup>Zur Anwendung kommt der NTC-Widerstand 'Semitec 103KT1608-1P', Ishizuka, Japan mit einer Abmessung von 1,6 mm · 0,8 mm · 0,8 mm.

Für die Bestimmung des Taupunkts kommen biologische Sensoren<sup>4)</sup> zum Einsatz. Dieser Sensor beinhaltet neben anorganischen Kristallen auch Fasern einer südafrikanischen Geranienart, die die Eigenschaft haben, sich bei Änderung der Feuchte auszudehnen beziehungsweise zusammenzuziehen. Mittels elektrischer Kontakte und einer Spannungsteiler-Schaltung wird diese hygromechanische Belastung gemessen [23]. Zusammen mit der Messung der Versorgungsspannung kann die relative Luftfeuchte bestimmt werden, wobei eine Genauigkeit von  $\pm 3\%$  erreicht wird. Die Ermittlung des Taupunkts erfolgt durch Hinzunahme der Temperatur am Einsatzort des Feuchtesensors.

### 3.2.2 Embedded Local Monitor Board

Beide im Abschnitt 3.2.1 beschriebenen Sensoren werden über messgrößenabhängige Spannungen ausgelesen. Um diese Spannungen im Backend-System weiter verarbeiten zu können, bedarf es einer Frontend-Komponente, die Messspannungen digitalisieren und weiterleiten kann.

Diese Messmethode war ein Grund für die Entwicklung eines universellen Ein- und Ausgabegerätes, des Embedded Local Monitor Boards (ELMB), durch die ATLAS-DCS-Kollaboration. Angesichts der zentralen Entwicklung am CERN und des breiten Leistungsspektrums des ELMBs wird dieses in nahezu allen Subdetektoren und Subsystemen eingesetzt, wodurch eine hohe Homogenität und eine Reduzierung auf hauptsächlich nur eine Technologie zur Auslese innerhalb des ATLAS Detektorkontrollsystem möglich ist. Auch innerhalb des Pixel Detektorkontrollsystems findet sich das ELMB aufgrund seiner Vielseitigkeit an vielen Stellen wieder und bildet somit die Grundlage der meisten Kontroll- und Überwachungsfunktionen des Systems.

Abbildung 3.2 zeigt mittels Blockdiagramms die Aufteilung des ELMB in einen analogen Teil, einen digitalen Teil und eine spezielle Schnittstelle. Alle drei Bereiche sind zur Vermeidung von Kriechströmen durch Optokoppler voneinander getrennt und besitzen daher eine jeweils eigene Spannungsversorgung.

Optional lässt sich ein 16-Bit ADC<sup>5)</sup> vom Typ CRYSTAL CS5523 betreiben. Dieser 4-kanalige Chip besitzt 12 bipolare Messbereiche von 25 mV bis 5 V und kann mit 8 unterschiedlichen ADC-Raten<sup>6)</sup> von 1,88 Hz bis 202 Hz arbeiten. Durch Vorschalten von 16 Multiplexern erhöht sich die Anzahl der analogen Eingangskanäle auf 64. Die im Pixel Detektorkontrollsystem gebräuchlichsten Einstellungen für die Umwandlung der analogen Spannungen in digitale Signale sind eine Abtastrate von 15 Hz und ein Spannungsmessbereich von 5 V.

Die lokale Intelligenz des ELMBs basiert auf einem Mikroprozessor ATmega 128 der Firma ATMEL, der zunächst für die Auslese und Ansteuerung des ADCs zustän-

---

<sup>4)</sup>Modell 'Xeritron' der Firma Hygrometrix Inc., Alpine, USA

<sup>5)</sup>engl.: Analog Digital Converter (ADC)

<sup>6)</sup>Anzahl der gemessenen Kanäle pro Sekunde

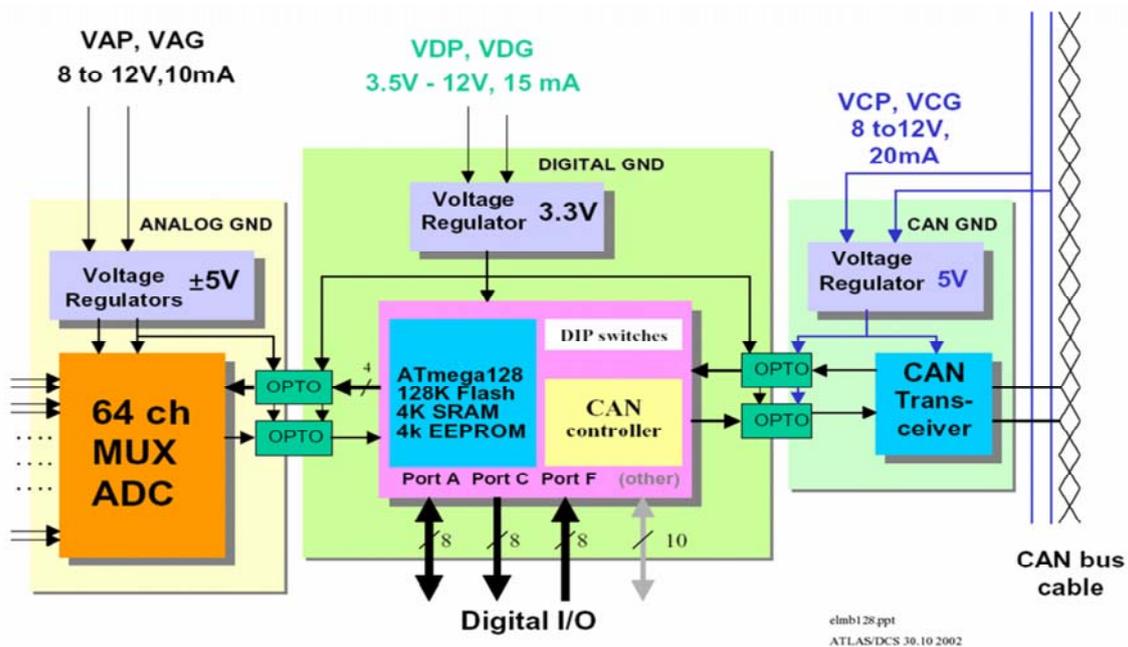


ABBILDUNG 3.2: Blockdiagramm des Embedded Local Monitor Boards [24]

dig ist, daneben aber auch über 8 digitale Eingänge und 8 digitale Ausgänge sowie 18 digitale bidirektionale Anschlüsse verfügt. Dieser Chip ist über die Schnittstelle programmierbar, so dass lokal eine erste grobe Datenverarbeitung, wie das Setzen von Gültigkeitsfenstern, möglich ist. Ferner kann die Art der Auslese der analogen Kanäle, nämlich periodisch, fragend, nach Werteänderung oder Verlassen eines Gültigkeitsbereichs, fixiert werden.

Die Verbindung des Mikroprozessors zum ADC oder zu zusätzlichen Bauteilen wie einem DAC<sup>7)</sup> mit 16 analogen Ausgängen geschieht über das synchrone, serielle Bus-System SPI<sup>8)</sup>. Dieses Bus-System ist dafür geeignet, digitale Schaltkreise miteinander zu kombinieren.

Die Datenübertragung zum und vom Backend-System erfolgt über das Controller Area Network (CAN). Dabei handelt es sich um ein asynchrones, serielles Feldbus-System, welches in der Industrie weit verbreitet ist. Durch die Verwendung des europäischen Kommunikationsprotokolls CANopen ist eine Anzahl von 127 Teilnehmern pro Bus möglich. Die Übertragungsraten variieren mit der Leitungslänge. Für das spätere Experiment sind Raten von 125 kBits/s bei 530 m sowie von 250 kBits/s bei 270 m vorgesehen. Weiterführende Informationen finden sich unter [24].

<sup>7)</sup>engl.: Digital Analog Converter (DAC)

<sup>8)</sup>engl.: Serial Peripheral Interface (SPI)

### 3.2.3 Spannungsversorgungssystem

Für den Betrieb des Pixeldetektors wird ein umfangreiches Spannungsversorgungssystem benötigt. Die Installation der einzelnen Komponenten dieses Systems wird in den unterirdischen Servicebereichen USA15 und US15 des Experiments erfolgen. Dabei ergeben sich Zuleitungslängen von bis zu 100 m, was zusätzliche Regelkomponenten für die Niederspannungen erforderlich macht. Das gesamte System unterliegt als Komponente des DCS Frontend-Systems der Überwachung durch das Pixel Detektorkontrollsystems. Die Integration in das Backend-System wird in Abschnitt 3.3 beschrieben.

Das Detektormodul des ATLAS-Pixeldetektors ist die kleinste Einheit, auf die das Pixel Detektorkontrollsystem noch wirken kann.

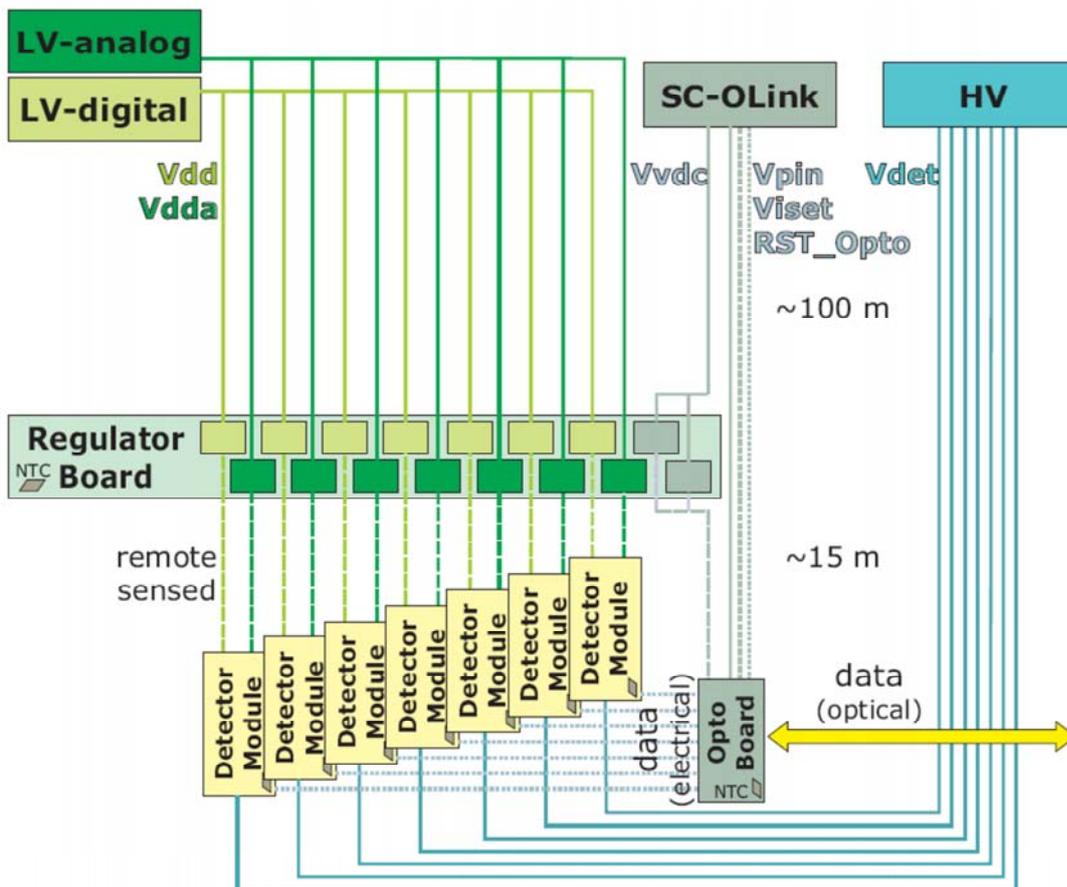


ABBILDUNG 3.3: Gesamtansicht des Spannungsversorgungssystems für den Pixeldetektor [25]

Die nachfolgenden Abschnitte beschreiben nun die elektrische Versorgung des Detektormoduls sowie des zugeordneten Optoboards wie sie in Abbildung 3.3 aus Sicht der Detektorkontrolle dargestellt ist.

## Hochspannungssystem

Die Depletion der Sensoren der Detektormodule erfolgt über ein Hochspannungssystem. Zum Einsatz kommen HV-Module<sup>9)</sup> mit jeweils 16 Ausgangskanälen. Die Anforderungen sind laut Spezifikation eine erdfreie Ausgangsspannung von 700 V sowie ein Ausgangsstrom von 4 mA pro Kanal [26]. Jedes HV-Modul besitzt zwei CAN-Schnittstellen zur Kommunikation mit dem Backend-System des Detektorkontrollsystems. Im späteren Aufbau ist es vorgesehen, dass je ein Crate zusammen mit seinen HV-Modulen einen eigenen, separaten CAN-Bus erhält.

Zu Beginn des Experiments wird ein Kanal die Versorgung von 6 beziehungsweise 7 Detektormodulen übernehmen, womit sich die Anzahl der anfänglichen Kanäle auf 272 summiert. Die dabei zugrunde liegende Anzahl der Detektormodule pro Kanal richtet sich nach dem jeweiligen Ort im Barrel- oder Disk-Bereich.

Obwohl der gesamte Pixeldetektor auf eine Temperatur von etwa  $-10^{\circ}\text{C}$  abgekühlt werden soll, wird es durch die sehr hohe Strahlenbelastung im späteren Experiment zu Strahlenschäden im Sensormaterial kommen und somit zu einem kontinuierlichen Anstieg des Sensorleckstroms. Daher ist es im Laufe des Experiments notwendig, die Modularität auf maximal 2 Detektormodule pro Hochspannungskanal zu begrenzen. Mit Anstieg des Leckstroms ist zusätzlich auch eine kontinuierliche Erhöhung der angelegten Spannung nötig, um den Sensor weiterhin vollständig zu depletieren. Nach Berechnungen in [11] steigt die Depletionsspannung für die B-Lage nach 5 Jahren Laufzeit von anfänglich 300 V auf 470 V an<sup>10)</sup>.

## Niederspannungssystem

Die Versorgung der Elektronik-Komponenten auf den Detektormodulen erfolgt über ein Niederspannungssystem. Zum Einsatz kommen LV-Module<sup>11)</sup> mit jeweils 12 Ausgangskanälen. Die Anforderungen sind laut Spezifikation eine erdfreie Ausgangsspannung mit einem Arbeitsbereich von 5 – 15 V und ein Ausgangsstrom von 11,5 A pro Kanal [26] für die Versorgung der Detektormodule und des Spannungsabfalls über den Zuleitungen.

Die vom Detektormodul benötigten Spannungen liegen zwischen 1,6 – 1,8 V bei Strömen von 0,3 – 1,2 A für die Versorgung des analogen Teils der FE-Chips ( $V_{\text{dda}}$ ) sowie zwischen 2,1 – 2,3 V mit Strömen bis 1,1 A für die gemeinsame Versorgung des digitalen Teils der FE-Chips und dem MCC ( $V_{\text{dd}}$ ). Bedingt durch eine Modularität von 6 beziehungsweise 7 Detektormodulen pro Kanal werden insgesamt 544 Ausgangskanäle und damit 48 LV-Module für das spätere Experiment benötigt. Die Kommunikation mit dem Backend-System des Pixel Detektorkontrollsystems erfolgt über Ethernet.

---

<sup>9)</sup>Modell 'EHQF007n-F' der Firma iseg, Rossendorf, Deutschland

<sup>10)</sup>Die Depletionsspannung ist nahezu unabhängig von den Wartungsperioden und liegt für den gesamten Zeitraum unter der technischen Obergrenze von 600 V.

<sup>11)</sup>Modell 'P1500F12' der Firma W.IE.NE.R, Burscheid, Deutschland

Aufgrund der langen Verbindungsstrecke von etwa 100 m zwischen Detektormodul und Versorgungssystem ist eine schnelle und genaue Einstellung der Spannungen am Modul nicht mehr möglich. Rauschen beziehungsweise Schwankungen auf den Leitungen könnten das Detektormodul im Betrieb stören, Spannungsspitzen größer 5 V es sogar zerstören. Ferner ist eine durch die Unterschiede im Strombedarf der einzelnen Module bedingte, separate Zuleitung mit der geplanten Modularität nicht durchführbar. Daher entschied die Pixel-Kollaboration die Einführung einer zusätzlichen Spannungsregulation.

### Regulator Stationen

Um nun die Front-End-Chips und auch das Optoboard gegen Spannungsschwankungen zu schützen, ist eine aktive Spannungsregulierung nahe den Detektormodulen am Service-Punkt Patch Panel 2 vorgesehen. Ferner kompensiert die elektronische Schaltung den großen Spannungsverlust der dünnen Zuleitungskabel im Detektorvolumen. Das Herzstück dieses Systems bildet ein ST Regulator<sup>12)</sup>, welcher einen maximalen Ausgangsstrom von 3 A bei einer Ausgangsspannung von 1,4 – 2,5 V liefern kann. Der Regulator akzeptiert dabei eine Eingangsspannung von bis zu 14 V.

Insgesamt sind 16 solcher ST Regulatoren auf einer Platine, dem so genannten Regulator-Board, untergebracht, wobei je 7 die Regelung der Versorgungsspannungen für den analogen Teil der FE-Chips, 7 die Regelung der Versorgungsspannungen für den digitalen Teil der FE-Chips und des MCCs und 2 die Regelung einer Versorgungsspannung des Optoboards übernehmen. Letzteres wird redundant ausgeführt, da bei einem Ausfall dieser Spannung 6 beziehungsweise 7 Detektormodule ihre optische Datenübertragung verlieren würden.

Die Einstellung der entsprechenden Spannungen erfolgt pro Kanal durch einen eigenen digitalen Trimmer. Je 12 Regulator-Boards werden zu einer Station zusammengefasst. Die Überwachung und Kontrolle einer Station und damit letztendlich die Ansteuerung der ST Regulatoren auf den einzelnen Regulator-Boards geschieht durch einen FPGA<sup>13)</sup>. Die Kommunikation mit dem Backend-System des Pixel Detektorkontrollsystems wird dabei von einem in der Firmware modifizierten ELMB übernommen.

### Strommess-System

Wie eingangs erwähnt, versorgt je ein Kanal des Niederspannungssystems 6 beziehungsweise 7 Detektormodule mit einer der beiden Spannungen  $V_{dda}$  oder  $V_{dd}$ . Probleme mit dem Erdungsschema in den Versorgungssystemen der Systemtest-Aufbauten haben gezeigt, dass eine zusätzliche Messung der Versorgungsströme pro

---

<sup>12)</sup>LHC4913, ST Microelectronics, Catania, Italien

<sup>13)</sup>engl.: **F**ield **P**rogrammable **G**ate **A**rray (FPGA),  
'XC4036XLA-09HQ240C' der Firma Xilinx, San José, USA

Detektormodul notwendig ist. Die Niederspannungen werden bereits am Service-Punkt Patch Panel 4 passiv aufgeteilt und von hier den Regulatoren zugeführt. Eine Messung der Ströme erfolgt sowohl in der Zu- als auch in der Ableitung, wodurch eine eventuelle gemessene Differenz im Stromwert Auskunft über ein fehlerhaftes Kabel oder eine nicht saubere Trennung des Kanals von der Erde geben kann. Um auch hier eine galvanische Trennung von den Leitungen zu erreichen, erfolgt die Messung der Ströme über zwischengeschaltete lineare Optokoppler, was das gesamte System sehr aufwändig macht.

Auch für die Hochspannung ist ein solches System vorgesehen, wobei hier die Strommessung nur in einer Zuleitung geschieht.

Insgesamt summiert sich die Anzahl der auszulesenden Kanäle im Niederspannungsbereich auf 6976 und im Hochspannungsbereich auf 1744. Die Auslese wird durch ELMBs erfolgen, die über CAN-Bus mit dem Backend-System verbunden sind.

### Versorgungssystem der optischen Auslese

Die Versorgung der optischen Datenübertragung des Detektormoduls und damit des oben angesprochenen Optoboards wird durch ein an der Universität Wuppertal entwickeltes Spannungsversorgungssystem, den SC-OLink<sup>14)</sup>, gewährleistet. Für den Betrieb des Optoboards sind 3 verschiedene erdfreie Spannungen sowie ein Reset-Signal notwendig. Alle vier Kanäle sind dabei auf einer SC-OLink Platine untergebracht. Nach den Spezifikationen in [27] versorgt die Spannung  $V_{\text{vdc}}$  (10 V, 800 mA) die beiden Kontroll-Chips VDC und DORIC, die Spannung  $V_{\text{pin}}$  (20 V, 20 mA) die PIN-Diode. Mittels der Spannung  $V_{\text{iset}}$  (5 V, 20 mA) wird der Arbeitspunkt der VCSEL eingestellt. Das Reset-Signal (2,5 V, 10  $\mu\text{s}$ ) wird zum Rücksetzen des DORICs benutzt (vergleiche Abschnitt 2.3.3, Seite 23).

Während die beiden Kanäle  $V_{\text{pin}}$  und  $V_{\text{iset}}$  sowie das Reset-Signal direkt mit dem Optoboard verbunden werden können, ist dieses bei der Spannung  $V_{\text{vdc}}$  nicht mehr möglich, da durch den höheren Stromwert ein nicht zu vernachlässigbarer Spannungsabfall über den entsprechenden Zuleitungen entstehen würde. Hier muss die Versorgung der Detektormodule über die eben angesprochenen Regulatoren erfolgen.

Abbildung 3.4 zeigt die schematische Ansicht eines SC-OLinks. Jeder der 4 Kanäle des SC-OLinks wird selbst durch eine eigene, sekundäre Transformatorwicklung versorgt, um gemäß dem Erdungsschema für das ATLAS Experiment die Kanäle voneinander galvanisch zu trennen. Alle 3 Versorgungskanäle verwenden einen Digital Analog Converter (DAC), um den entsprechenden Spannungswert zu setzen. Die Ansteuerung der DACs erfolgt durch ein ELMB, das über einen SPI-Bus mit den DACs kommunizieren kann. Das Setzen des Reset-Signals wird durch einen digitalen Ausgang des ELMBs realisiert. Um auch hier die jeweiligen Kanäle voneinander zu isolieren, werden zwischen SPI-Bus und DAC sowie zwischen ELMB und dem

<sup>14)</sup>engl.: Supply and Control for the Opto Link (SC-OLink)

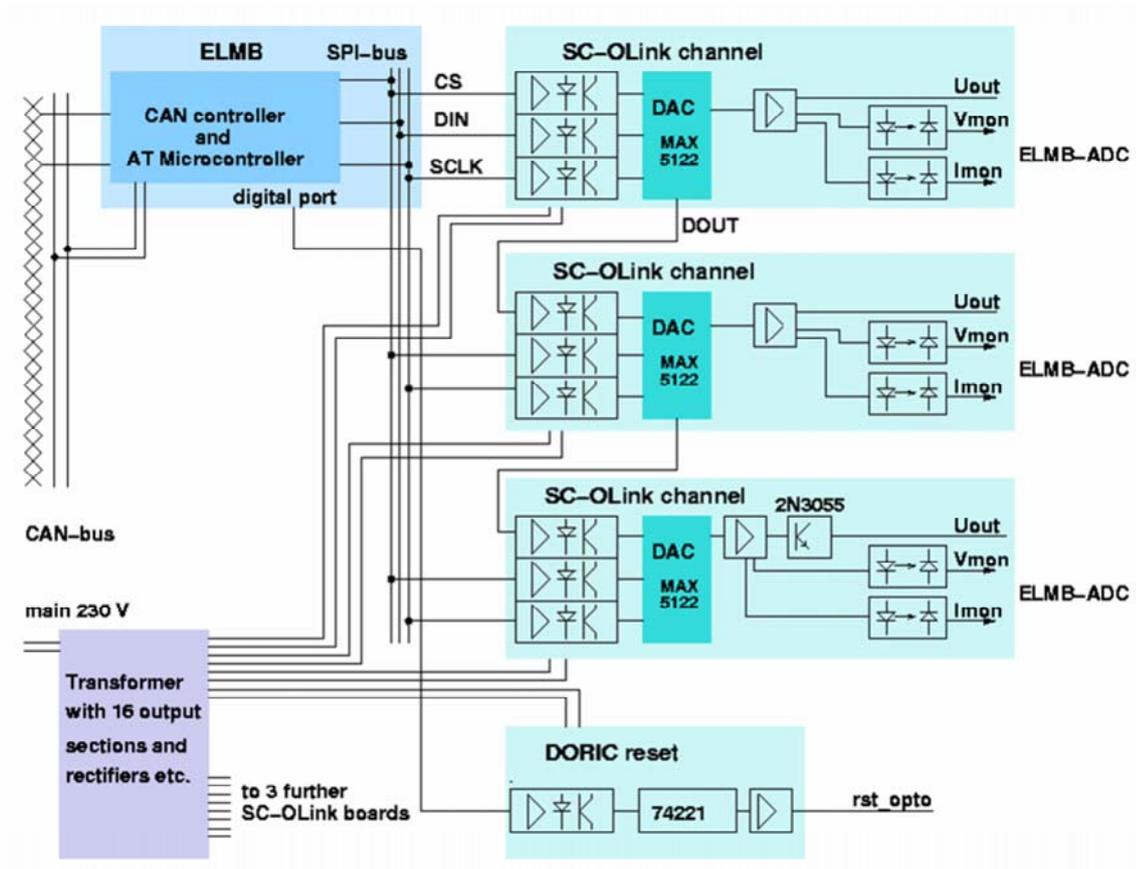


ABBILDUNG 3.4: Schematische Darstellung des SC-OLinks [27]

Reset-Eingang digitale Optokoppler eingesetzt. Die analoge Auslese der Spannungen und Ströme geschieht durch den Analog Digital Converter (ADC) des ELMBs. Jeder Auslesekanal ist zur Isolation vom Messsignal mit linearen Optokopplern versehen. Für die Verbindung des ELMBs zum Backend-System steht ein CAN-Bus zur Verfügung.

Im Experiment werden insgesamt 272 von diesen Systemen benötigt, da, wie bereits erwähnt, ein SC-OLink für die Versorgung eines Optoboards zuständig ist. Für die Installation in den unterirdischen Service-Bereichen werden dabei je 4 SC-OLinks zusammen mit einem ELMB und der eigens für die Auslese und Steuerung der SC-OLinks entwickelte Adapter-Platine zu einer Baugruppe vereint.

### 3.2.4 Interlock-System

Während des normalen Betriebs übernimmt das Backend-System des Pixel Detektorkontrollsystems die Überwachung aller Betriebsparameter. Es müssen jedoch Vorkehrungen getroffen werden, um bei einem kompletten Ausfall des Backend-Systems die Sicherheit für die Detektormodule, die Optoboards und die Regulator Stationen zu gewährleisten. Daher besitzt das Pixel Detektorkontrollsystem zusätzlich zur normalen Auslese eine von der Software vollkommen entkoppelte, rein hardwarebasierte Überwachung, das Interlock-System.

Die so genannten Patch Panel 3 sind auf den Service-Plattformen direkt am ATLAS Detektor beheimatet und beinhalten den für dieses System größten Anteil an der Hardware des DCS Frontend-Systems.

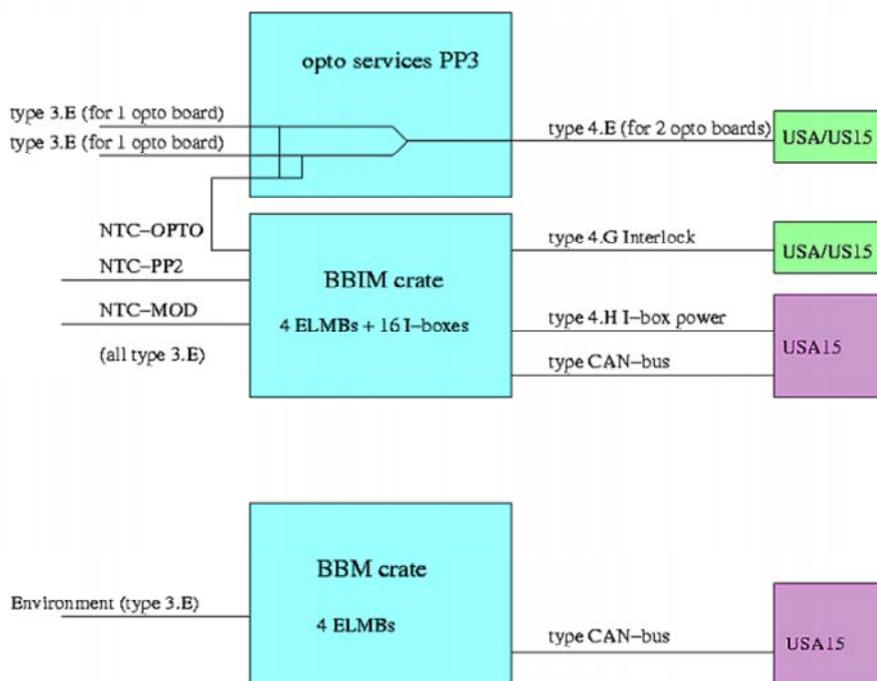


ABBILDUNG 3.5: Schematische Darstellung des Patch Panel 3 [28]

Aufgrund des Einsatzortes mussten sämtliche Komponenten auf Strahlentoleranz getestet werden. Neben zwei Auslesesystemen, dem BBIM und BBM, ist weiterhin eine Schnittstelle für die Versorgungsleitungen der Optoboards vorgesehen. Hierbei handelt es sich aber um eine rein passive Umgruppierung. Abbildung 3.5 gibt einen Überblick über die Ein- und Ausgänge der drei Komponenten.

### Thermisches Interlock-System BBIM

Das thermische Interlock-System BBIM<sup>15)</sup> beinhaltet ein ELMB sowie 4 Interlock-Boards und dient der Auslese von Temperatursensoren, die sich auf den Detektormodulen, den Opto-Boards und in den Regulator Stationen befinden. Die Messung der über den NTC-Widerständen abfallenden Spannungen geschieht mit dem ELMB, das seine genommenen Daten über CAN-Bus an das Backend-System zur Auswertung weiterleitet. So muss dann das Backend-System zum Beispiel dafür Sorge tragen, dass bei Überschreiten einer Modultemperatur von 0°C die dem Detektormodul zugehörige Spannungsversorgung heruntergefahren wird, da sonst Strahlenschäden im Detektormodul nicht mehr verhindert werden können [28].

Passiert diese Temperaturüberschreitung plötzlich und ist dadurch die Reaktion des Backend-Systems darauf zu langsam, übernimmt eine zusätzliche elektrische Schaltung, das Interlock-Board, die Rolle eines „Not-Aus“. Für das obige Beispiel bedeutet dies, dass das Versorgungssystem nicht mehr vom Backend-System, sondern dann durch das Interlock-System ausgeschaltet wird. Im Falle eines eventuellen Komplettausfalls des Backend-Systems ist das notwendige Ausschalten des Versorgungssystems sogar nur noch über das Interlock-System möglich. Daher werden die Informationen der Temperatursensoren sowohl für das normale Ausleseverfahren für das ELMB als auch für einen Kanal eines der Interlock-Boards aufgesplittet. Dieses vergleicht das NTC-Signal über Diskriminatorschaltungen mit wählbaren Schwellen und generiert im Falle eines Überschreitens ein Interlock-Signal. Aufgrund der schon angesprochenen Modularitäten im Versorgungssystem werden die Interlock-Signale nicht direkt an die entsprechende Hardware geschickt, sondern vorher noch in einer weiteren elektronischen Schaltung, der Interlock-Matrix, verarbeitet.

Im Experiment werden insgesamt 52 dieser Systeme benötigt. Für die Installation in den unterirdischen Service-Bereichen werden dabei je 4 BBIM zu einem BBIM Crate zusammengefasst.

### Monitoring-System BBM

Das thermische Interlock-System BBM<sup>16)</sup> beinhaltet hauptsächlich nur ein ELMB, so dass insgesamt bis zu 64 Kanäle für Messungen zur Verfügung stehen. Das ELMB ist ebenfalls über CAN-Bus mit dem Backend-System des Pixel Detektorkontrollsystems verbunden. Das BBM hat die Aufgabe, die Umgebungsparameter des Pixeldetektors zu bestimmen. Dazu zählt neben der Überwachung der Feuchte mittels Feuchtesensoren auch die Bestimmung der Temperatur im Volumen des Pixeldetektors durch NTC-Widerstände. Die Aufnahme der eingehenden Signale und die Weiterleitung an das ELMB erfolgt über eigens dafür entwickelte Adapterplatinen.

---

<sup>15)</sup>engl.: **B**uilding **B**lock **I**nterlock **M**onitoring (BBIM)

<sup>16)</sup>engl.: **B**uilding **B**lock **M**onitoring (BBM)

Die Verarbeitung und die Entscheidung für das Auslösen einer Aktion obliegt dabei dem Detector Safety System (DSS). Daher muss eine Weitergabe der Messdaten vom Pixel Detektorkontrollsystem permanent gewährleistet werden.

Im Experiment sind insgesamt 12 BBM Crates erforderlich, wobei ein BBM Crate jeweils 3 BBMs zusammenfasst.

### Interlock-Matrix

Im Pixel Detektorkontrollsystem kann ein Interlock auf drei unterschiedliche Arten ausgelöst werden:

- Gefahr durch Überhitzung von kleineren Elektronik-Komponenten auf den Detektormodulen und in der Hardware des Frontend-Systems des Pixel DCS
- Gefahr durch zu hohe Strahlung, Ausfall des Kühlsystems und Feuchte im Detektorvolumen
- Gefahr durch die für die optische Datenübertragung benutzten Laser

In Abhängigkeit von der Gefahrenquelle müssen unterschiedliche Ausschaltzenarien realisiert werden. Hierzu wird zur Zeit innerhalb der Wuppertaler DCS Gruppe die so genannte Interlock-Matrix entwickelt. Diese kombiniert die unterschiedlichen Eingangssignale, generiert daraus Interlock-Signale und vollzieht damit den entsprechenden Ausschaltprozess. Durch Verwendung von FPGAs zur Logikprogrammierung ist eine Gruppierung und Verarbeitung der hohen Anzahl von Kanälen (2150 Eingangs- und 1097 Ausgangskanäle [29]) möglich:

- $T_{\text{mod}}$ , Interlock-Signal – Temperatur eines Detektormoduls überschreitet einen festgelegten Grenzwert
- $T_{\text{PP2}}$ , Interlock-Signal – Temperatur im Service-Gehäuse der Regulator Station überschreitet einen festgelegten Grenzwert
- $T_{\text{Opto}}$ , Interlock-Signal – Temperatur auf dem Optoboard überschreitet einen festgelegten Grenzwert
- $I_{\text{BOC}}$ , Interlock-Signal – Öffnen des Readout Driver Crates, das die Back Of Crate Karten und damit Laser der optischen Datenübertragung beheimatet
- $I_{\text{PP1}}$ , Interlock-Signal – Öffnen des Service-Gehäuses des Patch Panels 1, das optische Verbindungen beinhaltet
- $I_{\text{DSS}}$ , Interlock-Signal – Generiert vom Detector Safety System (DSS) bei Ausfall eines der Kühlsysteme, erhöhter Strahlung, Rauchbildung usw.

Tabelle 3.1 fasst die einzelnen Reaktionen des Versorgungssystems sowie der Back Of Crate Karte auf die eingehenden Interlock-Signale zusammen. Dieses Schema muss von der Interlock-Matrix umgesetzt werden.

	HV	LV	SC-OLink	BOC
T <sub>mod</sub>	X	X		
T <sub>PP2</sub>	X	X	X	
T <sub>Opto</sub>			X	
I <sub>BOC</sub>			X	
I <sub>PP1</sub>			X	X
I <sub>DSS</sub>	X	X	X	

TABELLE 3.1: *Interlock-Schema der Interlock-Matrix (X $\Leftrightarrow$ Interlock) [29]*

Zur Fehlersuche innerhalb, aber auch zum Testen des Interlock-Systems wird das Backend-System sowohl die Eingänge als auch die Ausgänge der Interlock-Matrix durch ELMBs überwachen. So kann durch Messung der Ausgänge bei einer plötzlichen Deaktivierung eines Versorgungskanals zwischen einem regulär gesetzten Interlock-Signal und einem Ausfall, bedingt durch einen Defekt der Versorgungseinheit, unterschieden werden. Ein Vergleich der Eingänge mit den Zuständen der zugehörigen Parameter im Backend-System erlaubt das Auffinden von defekten Komponenten im Interlock-System.

### 3.2.5 Überblick

Abbildung 3.6 gibt zusammenfassend einen Überblick über das gesamte Frontend-System des Pixel Detektorkontrollsystems. Zu sehen sind die angesprochenen Versorgungssysteme für die Hoch- und Niederspannungen zusammen mit der durch die Modularität begründeten Aufteilung der Zuleitungen auf dem Service-Bereich Patch Panel 4. Die Niederspannungen sind an den Regulator angeschlossen, von wo aus die eigentliche Versorgung des Detektormoduls geschieht. Ferner ist das Versorgungssystem des Optoboards dargestellt, wobei eine Zuleitung ebenfalls vom Regulator gesteuert wird. Die Informationen aus der Überwachung der Temperaturen durch das BBIM wird an die Interlock-Matrix weitergeben.

Alle hier vorgestellten Systeme<sup>17)</sup> müssen zur Überwachung und Steuerung von dem Backend-System des Pixel Detektorkontrollsystems ausgelesen werden. Zu berücksichtigen ist, dass, aufgrund der in Tabelle 3.2 ermittelten Anzahl von etwa 46 000 Kanälen, eine Integration der verwendeten Frontend-Elektronik nur durch Automation zu bewerkstelligen ist.

<sup>17)</sup>Die Überwachung der Readout Crates, die ebenfalls in die Zuständigkeit der Pixel Detektorkontrolle fällt, ist zur Zeit noch im Aufbau.

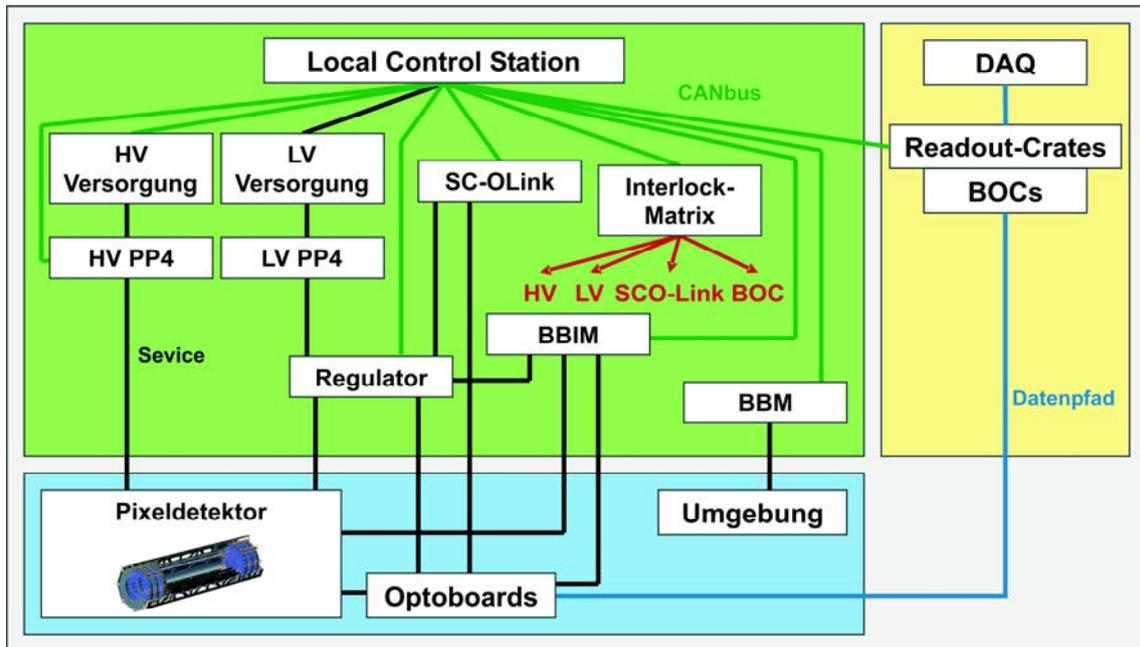


ABBILDUNG 3.6: Gesamtansicht des Frontend-Systems des Pixel Detektorkontrollsystems

Kanaltyp	Anzahl der Kanäle	Parameter pro Kanal	Parameter
$T_{\text{mod}}$	1744	1	1744
$T_{\text{env}} + \text{Hum}$	$\sim 200$	1+6	$\sim 200$
$T_{\text{opto}}$	272	1	272
$T_{\text{PP2}}$	$2 \cdot 28$	1	112
HV	1744	6	10 464
LV	$2 \cdot 272$	6	3 264
SC-Olink	$3 \cdot 272 + 1 \cdot 272$	5/1	4 352
PP2	$2 \cdot 1744 + 272$	4	15 040
PP4	$6976 + 1744$	1	8 720
BOC	132	5	660
Crate	$\sim 200$	5	$\sim 1000$
Summe			45 828

TABELLE 3.2: Anzahl der Parameter im Pixel Detektorkontrollsystem [30]

Der nächste Abschnitt beschreibt daher detailliert das dafür benötigte Backend-System.

### 3.3 Backend-System des Pixel Detektorkontrollsystems

Das Backend-System des Detektorkontrollsystems hat nach Abschnitt 3.1 zur Aufgabe, die Kontrolle, die Konfiguration, die Auslese und die Überwachung der Hardware des Frontend-Systems zu gewährleisten. Darüber hinaus müssen alle genommenen Daten in der Art verarbeitet und aufbereitet werden, dass daraus der momentane Zustand des Detektors ablesbar ist.

Hier bilden die so genannten SCADA Systeme die Grundlage für ein modernes Überwachungs- und Datenerfassungssystem.

#### 3.3.1 SCADA Systeme

SCADA<sup>18)</sup> Systeme sind kommerzielle Softwarepakete und kommen in der Regel zur Steuerung von verfahrenstechnischen Anlagen der Industrie zum Einsatz. Dabei werden die von der Hardware erfassten Daten in der Software weiterverarbeitet und dem Bediener unter anderem visuell aufbereitet zur Verfügung gestellt.

SCADA Produkte basieren auf einer flexiblen und offenen Architektur, die eine hohe Individualität in der Anwendung erlaubt. Somit sind sie im Besonderen auch durch die Automation von technischen Prozessen in der Lage, die hohen Anforderungen der heutigen Detektorkontrollsysteme zu erfüllen.

SCADA Systeme bieten sämtliche, für eine Überwachung notwendigen Grundfunktionen wie Human Machine Interface (HMI), Trenddarstellungen, Fehlerkonzepte oder Datenarchivierung an. Neben standardisierten Schnittstellen zur Einbindung von Hardware-Komponenten stellen sie Programmierschnittstellen (API<sup>19)</sup>) für den Austausch mit externen Software-Applikationen zur Verfügung. Ferner sind sie in der Lage, über integrierte Datenbankschnittstellen ihre Informationen gezielt an relationale Datenbanken weiterzugeben.

#### 3.3.2 Das SCADA System PVSS II

Das Joint COntrols Project (JCOP), ein Zusammenschluss zwischen CERN und den vier LHC Experimenten, hat nach einer zweijährigen Evaluationsphase das SCADA Produkt PVSS II<sup>20)</sup> der Firma FTM<sup>21)</sup> als Standard-Kontrollsystem gewählt.

PVSS II besitzt die im vorangegangenen Abschnitt 3.3.1 aufgeführten Eigenschaften, ist aber in erster Linie als Entwicklungsumgebung zu verstehen.

---

<sup>18)</sup>engl.: **S**upervisory **C**ontrol **A**nd **D**ata **A**cquisition (SCADA)

<sup>19)</sup>engl.: **A**pplication **P**rogramming **I**nterfaces (API)

<sup>20)</sup>**P**rozessvisualisierungs- und **S**teuerungssystem (PVSS)

<sup>21)</sup>FTM professional control GmbH, Eisenstadt, Österreich

Die Funktionalität von PVSS II wird durch separate Prozesse, die Manager, übernommen, die wiederum nach ihrer Aufgabe bestimmten Schichten zugeordnet werden. Die Manager kommunizieren innerhalb eines Systems miteinander und können dabei über mehrere Rechner nach dem Client-Server-Prinzip verteilt sein [31].

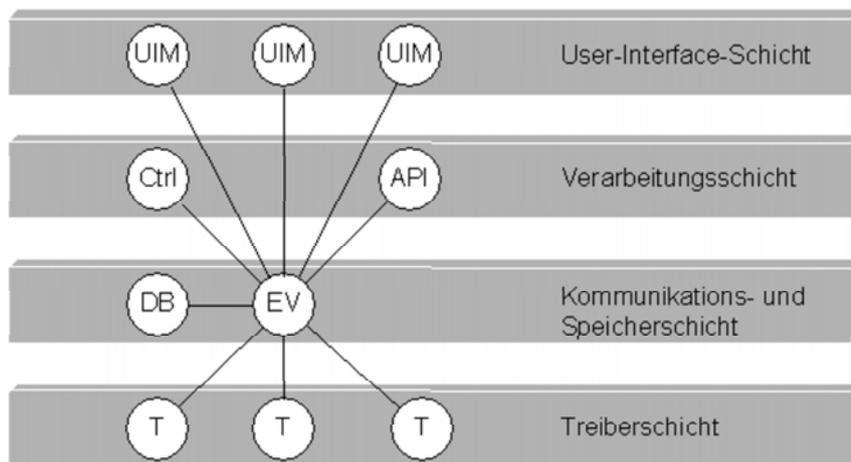


ABBILDUNG 3.7: Architektur des PVSS II Systems [31]

Abbildung 3.7 zeigt die Unterteilung der Manager eines Systems auf die verschiedenen Schichten.

Die *Treiberschicht* stellt die Kommunikation mit der Hardware über standardisierte Treiber oder auch über Feldbus-Systeme sicher. Diese Ebene kontrolliert ferner den Datenfluss durch ausgewählte Filter, wodurch der Datenfluss in das System reduziert werden kann.

Die *Kommunikations- und Speicherschicht* bildet das Herzstück des Systems. Hier wird der bidirektionale Austausch von Informationen zwischen sämtlichen Managern durch den Event-Manager (EV) koordiniert. Der Data-Manager ist für die gesamte Datenverwaltung zuständig und übernimmt die Initialisierung der anderen Schichten. Ferner verwaltet diese Schicht die historischen Daten durch den Datenbank-Manager (DB).

Die *Verarbeitungsschicht* bietet eine zusätzliche, flexible Datenverarbeitungsebene. Der benutzereigene Programmcode wird durch den Control-Manager (Ctrl) interpretiert und ausgeführt, wobei neben Standard ANSI-C-Funktionen auch PVSS II-spezifische zur Anwendung kommen. Das Application Programming Interface (API) bietet eine Reihe von Funktionen, die es ermöglichen, das System um eigenentwickelte Manager zu erweitern. Unter dieser Art von Manager versteht man dabei ein Programm, das über ein wohldefiniertes Protokoll mit dem System kommuniziert. Die *User-Interface-Schicht* ist die Schnittstelle zum Benutzer. Durch die Verwendung eines Human Machine Interface (HMI) können Prozessvariablen direkt mit grafischen Objekten verknüpft und so über ein Visualisierungssystem dem Benutzer zur Interaktion bereit gestellt werden.

PVSS II basiert auf verschiedenen Konzepten. Zwei zentrale Elemente, die sich in allen Bereichen wiederfinden, sind das flexible Datenpunkt-konzept sowie die Kontrollsprache 'Control'.

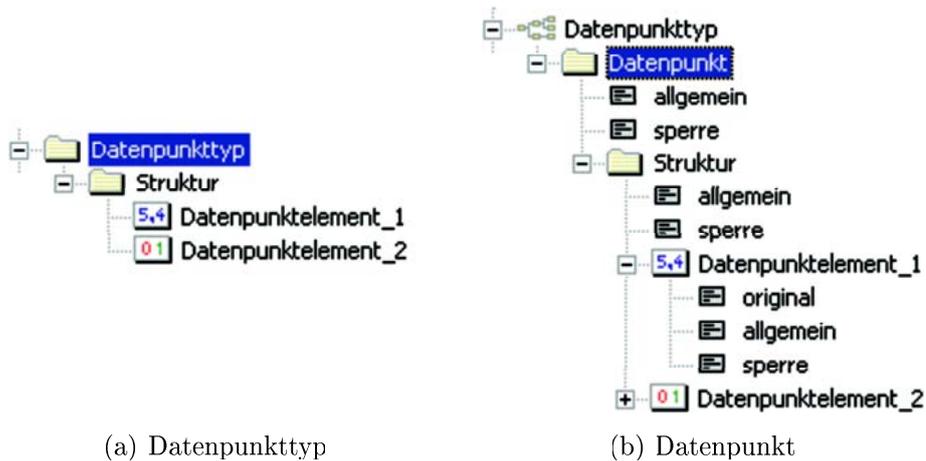


ABBILDUNG 3.8: Beispiel einer Datenpunktstruktur

Eine Variable wird für die Verarbeitung innerhalb des Systems durch das Datenpunkt-konzept verwaltet. Dabei kann eine Variable ein komplexes Datengebilde oder eine einzelne Information repräsentieren. Diese Struktur der Variable wird durch den Datenpunkttyp (DPT) im System definiert. Dabei muss zunächst das eigentliche Gerüst mit seiner Unterstruktur und den einzelnen Blättern, den Datenpunktelementen (DPE), angelegt werden. Danach lässt sich das Datenformat der Blätter festsetzen (Abbildung 3.8(a)).

Nach der Definition eines Datenpunkttyps besteht nun die Möglichkeit, eine beliebige Anzahl von Datenpunkten (DP) anzulegen, welche alle den gleichen Aufbau besitzen (Abbildung 3.8(b)). Diese Datenpunkte sind innerhalb von PVSS II jene Datenstrukturen, die das Prozessabbild des zu steuernden Systems enthalten. Um die Funktionalität des Elements zu spezifizieren, wie zum Beispiel eine Treiber-Adressierung zur Hardware, müssen den Datenpunktelementen zusätzliche Konfigurationen zugeordnet werden.

Auf diese Weise entstehen auf die einzelnen Anwendungen optimierte Datenpunkte, welche alle für ihren Einsatzzweck benötigten Daten enthalten und diese thematisch zu einer Einheit zusammenfassen [31].

Kontrollskripte sind Programme, die in der stark an ANSI-C angelehnten internen Steuerungssprache 'Control' verfasst sind. Sie werden direkt vom System interpretiert, wodurch eine zusätzliche Kompilierung entfällt. Durch Kontrollskripte können Änderungen von Prozesszuständen, zum Beispiel mit wohldefinierten Reaktionen auf Hardware-Komponenten oder auch grafische Objekte, in der Visualisierung verknüpft werden. Für die Kontrollskripte kann eine eigene Bibliothek von Funktionen

angelegt werden, auf die alle Kontrollskripte eines Projektes zugreifen können. Diese Bibliothek kann auch zur Laufzeit verändert werden.

Mit der hohen Anzahl von Rechnern und von Mikrocontrollern gesteuerten Geräten unterschiedlicher Hersteller erhält man eine große Anzahl von Schnittstellen und Gerätetreibern, die untereinander meistens nicht kompatibel sind und dadurch den Zugriff unnötig erschweren. Daher wird im späteren Experiment die vom hersteller unabhängige Middleware-Technologie Openness, Productivity, Collaboration (OPC<sup>22</sup>) angewandt. Für die Kommunikation zwischen den Anwendungen benutzt OPC hauptsächlich Microsofts DCOM Technologie (Distributed Component Object Model). Dank DCOM ist es für OPC-Anwendungen transparent, ob die über OPC ausgetauschten Daten von einer Anwendung im eigenen Adressraum, von einem fremden lokalen Prozess oder auch von einem entfernt über TCP/IP angebundnen Rechner kommen. Der Kommunikationsweg ist in Abbildung 3.9 gezeigt.

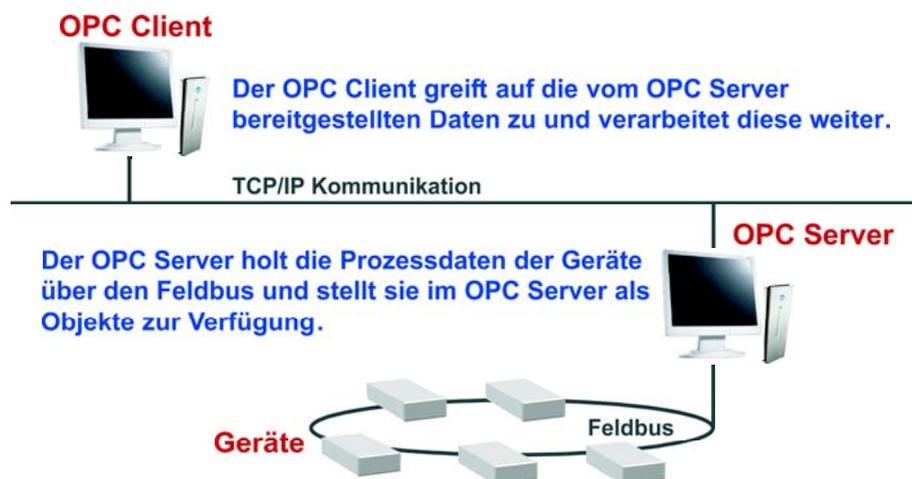


ABBILDUNG 3.9: OPC Kommunikationsweg nach dem Client-Server-Prinzip

In Bezug auf das Pixel Detektorkontrollsystem sind auf den Local Control Stations (LCS) die den Geräten zugeordneten OPC-Server installiert. Damit ist es für das Backend-System möglich, als OPC-Client die Daten in das Backend-System aufzunehmen.

### 3.3.3 Frontend Integration Tool (FIT)

Das Joint COntrols Project (JCOP) hat sich durch die Wahl von PVSS II als gemeinsames SCADA System zum Ziel gesetzt, den Aufwand bei der Entwicklung von Kontrollsystemen, wie zum Beispiel das Detector Safety System (DSS), Gas

<sup>22</sup>)vormals für: OLE for Process Control

Control oder Detektorkontrollsystem, zu minimieren und einen gemeinsamen Standard einzuführen. So ist unter anderem eines der JCOP-Projekte, das so genannte Framework, dafür vorgesehen, Komponenten für die Detektorkontrollsysteme zu entwickeln, die von einer Vielzahl von Experimenten benutzt werden können. Ferner werden Empfehlungen und Richtlinien eingeführt, um eine möglichst hohe Homogenität in den Detektorkontrollsystemen zu gewährleisten.

Die Komponenten des Frameworks lassen sich in zwei Bereiche teilen. Es stehen einerseits Hilfsmittel für die Integration von Hardware wie Spannungsversorgungssysteme oder aber auch das ELMB, in das Detektorkontrollsystem zur Verfügung. Andererseits existieren Software-Komponenten, die zum Beispiel die Definition und den Betrieb eines Zustandsautomaten oder die Anbindung des Kontrollsystems an eine Konfigurations-Datenbank erlauben.

Da nun aber viele der Hardware-Komponenten des Pixel Detektorkontrollsystems sehr stark auf den Pixeldetektor zugeschnitten und zum Teil sogar Eigenentwicklungen sind, stehen keine Hilfsmittel des Frameworks für deren Integration in ein Detektorkontrollsystem zur Verfügung. Berücksichtigt man zusätzlich noch deren große Stückzahl im Frontend-System, ist die Integration der verwendeten Frontend-Komponenten nur durch eine Automatisierung zu bewerkstelligen. Somit musste eine Lösung gefunden werden, die die pixelspezifische Hardware berücksichtigt.

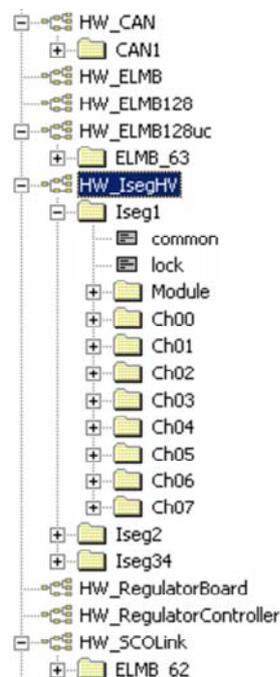


ABBILDUNG 3.10: Datenpunktstruktur für ausgewählte Pixel DCS Frontend-Komponenten (CANbus, ELMB, Hochspannungsversorgung, Regulator sowie SC-OLink)

In [32] wurde ein Konzept für die Integration, das so genannte Frontend Integration Tool, erstmalig für die Hardware-Komponenten ELMB und Hochspannungsversorgung vorgestellt und als eigenständiges PVSS II System in das Detektorkontrollsystem eingefügt.

Basierend auf das Datenpunkt-konzept von PVSS II wird zunächst durch das Anlegen eines Datenpunkttyps (DPT) die Struktur der zu integrierenden Frontend-Komponente im Backend-System als Gerüst nachgebildet. Über eine grafische Benutzeroberfläche ist es weiter möglich, durch Angabe weniger, aber eindeutiger Parameter wie zum Beispiel der Feldbus-Kennnummer des Geräts, die entsprechende Hardware für die Integration vorzubereiten. Kontrollskripte übernehmen anschließend das Anlegen eines Datenpunkts zusammen mit dessen gesamter Konfiguration. Je mehr Frontend-Komponenten gleichen Typs eingegliedert werden, desto mehr Datenpunkte finden sich unter einem Datenpunkttyp.

Durch Anwendung dieser Vorgehensweise auf weitere Frontend-Komponenten entsteht auf der obersten Datenpunkttyp-Ebene eine Gruppierung gemäß der Funktionalität der Geräte. Daher wird diese Eingliederung auch als 'funktionaler Ansatz' bezeichnet (siehe Abbildung 3.10).

Über zusätzliche grafische Oberflächen ist es dem Benutzer gestattet, sämtliche Frontend-Komponenten zu steuern und sich über den Zustand des Geräts zu informieren (vergleiche Abbildung 3.11). Damit geschieht die Überwachung und Kontrolle vollständig aus PVSS II heraus und unabhängig von firmeneigener Steuerungssoftware.

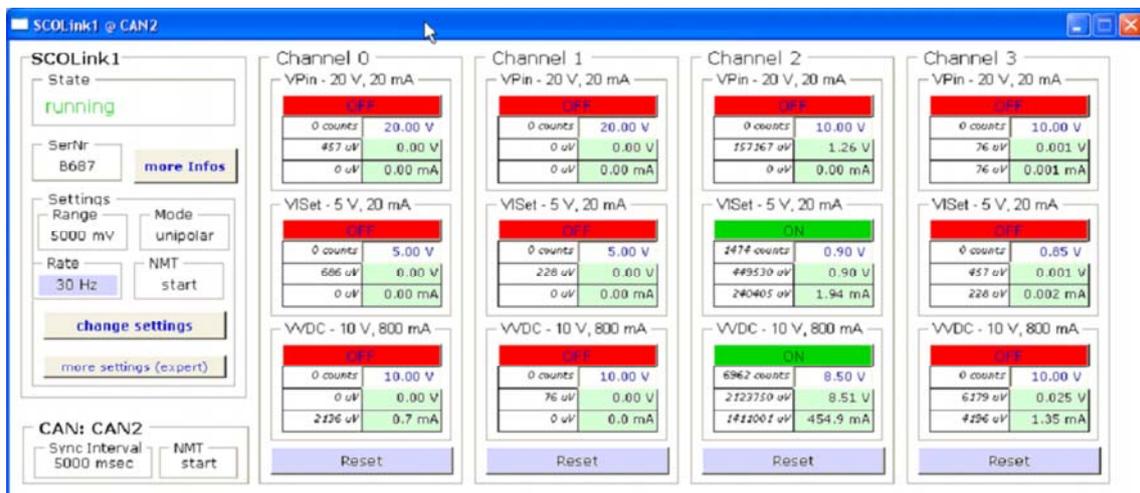


ABBILDUNG 3.11: Grafische Benutzeroberfläche des Frontend Integration Tools für die Versorgung des Optoboards (SC-OLink)

Zur Zeit existieren im Pixel Detektorkontrollsystem die Frontend Integration Tools (FIT) für die Komponenten Niederspannungsversorgung und Hochspannungsversor-

gung sowie ein gemeinsamer FIT für die unterschiedlichen Einsatzgebiete der ELMB wie BBIM, BBM, Strommess-System, Regulator Station und die Versorgungseinheit des Optoboards.

### 3.3.4 Projektierung - die Unterteilung in Subprojekte

Mit der fortschreitenden Umsetzung der unterschiedlichen Anforderungen an das Detektorkontrollsystem in die Software ist ein zunehmender Aufwand in der Programmierung verbunden. Im Besonderen durch gleichzeitige Modifikationen von mehreren Programmierern an einem Projekt, ist es nicht mehr möglich, die Entwicklung innerhalb nur eines PVSS II Systems fortzuführen. Daher musste nach einer Möglichkeit gesucht werden, die Aufgaben auf mehrere PVSS II Systeme aufzuteilen und anschließend diese wieder zu vereinen.

Die PVSS II eigene Projektverwaltung ermöglicht die Administration von mehreren PVSS II Systemen, den so genannten Projekten. Hierbei machte man sich eine Eigenschaft von PVSS II zunutze, die es ermöglicht, eigenständige, komplett lauffähige Projekte als Subprojekt in ein gemeinsames Hauptprojekt einzubinden. Damit stehen alle Dateien der Subprojekte wie Benutzeroberflächen oder Kontrollskripte dem Hauptprojekt zur Verfügung.

In Bezug auf das Pixel Detektorkontrollsystem zeigt Abbildung 3.12 eine derartige Unterteilung. Zu sehen ist das übergeordnete Hauptprojekt „ATLASPixDCS“ mit den rechts stehenden Subprojekten bezüglich der verschiedenen Frontend Integration Tools. Die weiteren Subprojekte werden zum Teil im Rahmen dieser Arbeit ausführlicher behandelt. So findet sich das Projekt zur Visualisierung der Daten „ATLASPixDCS\_SIT“ in Kapitel 4, das Projekt zur Kommunikation mit der physikalischen Datennahme „ATLASPixDCS\_DDC“ in Kapitel 5 sowie die Anbindung an eine spezielle Datenbank „ATLASPixDCS\_DB“ in Kapitel 6.

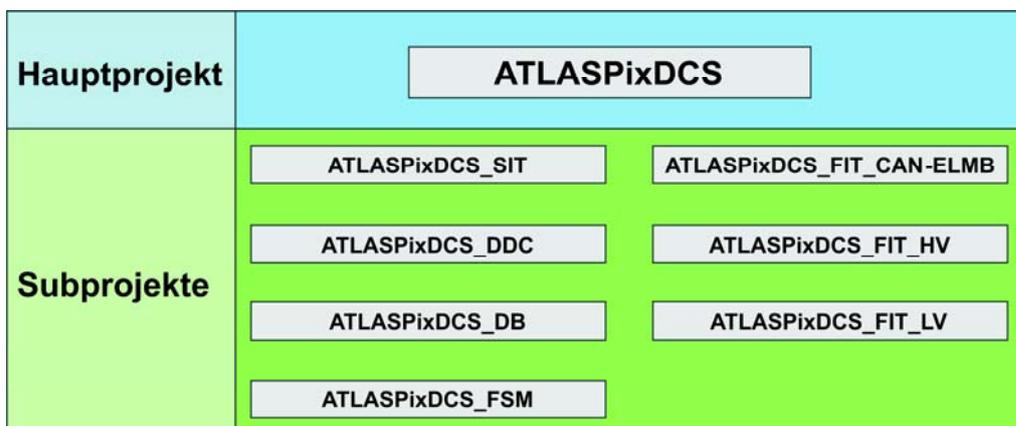


ABBILDUNG 3.12: Projektierung des Backend-Systems im Pixel Detektorkontrollsystem

Die Vorgehensweise der Unterteilung ist innerhalb der Wuppertaler DCS-Gruppe umgesetzt worden, so dass sich das gesamte Backend-System auf Änderungen seitens der Hardware im Frontend-System leicht anpassen lässt und sich neue Hardware-Funktionen softwaretechnisch schnell umsetzen lassen.

### 3.3.5 Zustandsmaschine der Detektorkontrolle

Wie in Abschnitt 2.4.4 beschrieben, unterliegt das TDAQ System einem Partitionierungskonzept, nach dem die kleinste Aufteilung eines Subdetektors in TTC Bereiche erfolgt. Ein Detektorkontrollsystem muss, als Teil des TDAQ Systems, diesem Konzept folgen. Daher basiert das Detektorkontrollsystem für ATLAS ebenfalls auf einer Zustandsmaschine (FSM<sup>23</sup>), welche die einzelnen Bereiche der Subdetektoren mittels so genannter Kontroll- und Geräteeinheiten in der Backend-Software beschreibt (siehe Abbildung 3.13). Die Kontroll- und die Geräteeinheit stellen dabei die beiden Grundelemente dieser Zustandsmaschine dar.

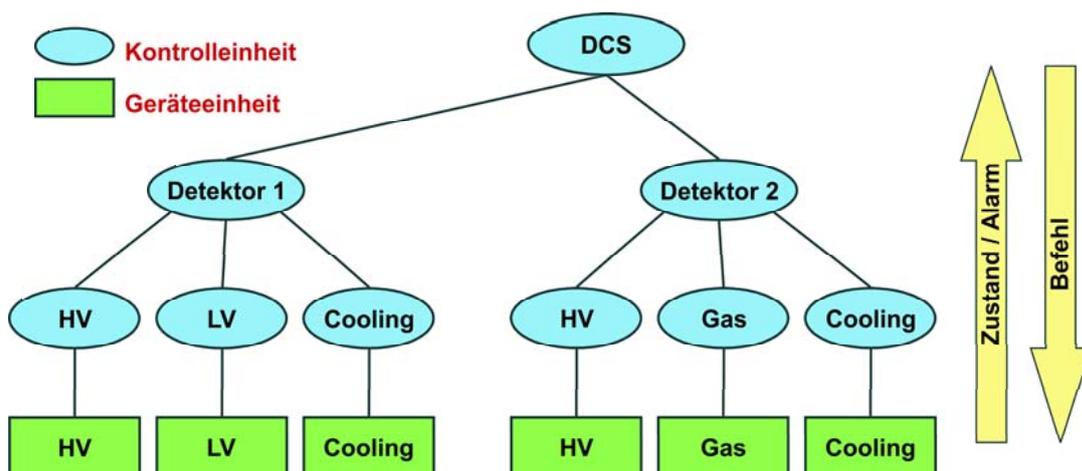


ABBILDUNG 3.13: Logische Architektur eines funktional ausgerichteten Detektorkontrollsystems

Eine Kontrolleinheit ist ein logisches Element, das in Abhängigkeit seines Zustands selbstständig Entscheidungen treffen sowie auf die ihm untergeordnete Ebene wirken darf. Das logische Verhalten dieser Elemente bestimmt dabei die Zustandsmaschine. Zustandsänderungen können durch übergeordnete Elemente oder durch Zustandsänderungen in der untergeordneten Ebene ausgelöst werden. Dieser Mechanismus wird im späteren Experiment benutzt, um Befehle der Global Control Station (GCS) an die untergeordneten Subdetector Control Stations (SCS) weiterzugeben und auf der GCS wiederum Informationen über Zustandsänderungen der SCS zu erhalten.

<sup>23</sup>)engl.: Finite State Machine

Eine Geräteeinheit ist ein Element der untersten Ebene und bildet die Schnittstelle zur Hardware. Sie übersetzt zum einen die Befehle aus der übergeordneten Ebene in eine Reihe von Aktionen, die auf die Hardware wirken, und generiert zum anderen in Abhängigkeit zu den genommenen Daten einen Zustand des Geräts, welcher nach oben weitergegeben wird.

In Anlehnung an die Hinzu- und Herausnahme von TDAQ Segmenten ist es auch in der DCS Zustandsmaschine möglich, einzelne Kontrolleinheiten oder Strukturen aus dem Verbund herauszulösen. Die zwei am gebräuchlichsten Mechanismen dafür sind in Abbildung 3.14 dargestellt.

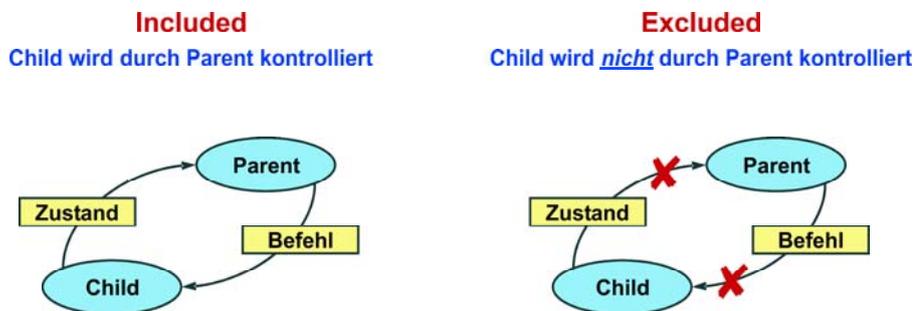


ABBILDUNG 3.14: Gebräuchlichste Mechanismen zwischen zwei Kontrolleinheiten im Verbund einer DCS Zustandsmaschine [33]

Mit diesen Mechanismen ist unter anderem die Ausführung spezieller Kontrollskripte innerhalb von PVSS II und damit bestimmter Funktionen verbunden. Sie werden im Rahmen dieser Arbeit als FSM Aktionen bezeichnet und kommen in Kapitel 5 bei der Anbindung der DCS Zustandsmaschine an die DAQ Zustandsmaschine 'Run Control' noch einmal zur Sprache. Zusätzlich ist dort zur Unterscheidung als FSM Befehl die Aufforderung zu einer Zustandsänderung definiert.

Damit ist es nun auch seitens des Detektorkontrollsystems möglich, durch Herausnahme eines Subdetektors diesen unabhängig von den anderen betreiben zu können, wobei das Verhalten des Subdetektors durch eine eigene, subdetektorspezifische Zustandsmaschine bestimmt wird.

Im Vergleich zum Zustandsmodell der DAQ Zustandsmaschine 'Run Control' (vergleiche Abbildung 2.17) muss sich die FSM des Detektorkontrollsystem auf ein vollkommen anderes Muster gründen, da letztendlich durch diese das Frontend-System gesteuert werden muss. Abbildung 3.15 gibt als vereinfachtes Beispiel ein Zustandsmodell eines Subdetektors mit einem Hochspannungssystem wieder.

Der Ausgangszustand eines Subdetektors ist der Zustand 'off', in dem auch das Hochspannungssystem ausgeschaltet ist. Auf eventuelle Anforderung der DAQ Zustandsmaschine 'Run Control' geht der Subdetektor nach erfolgreicher Konfiguration

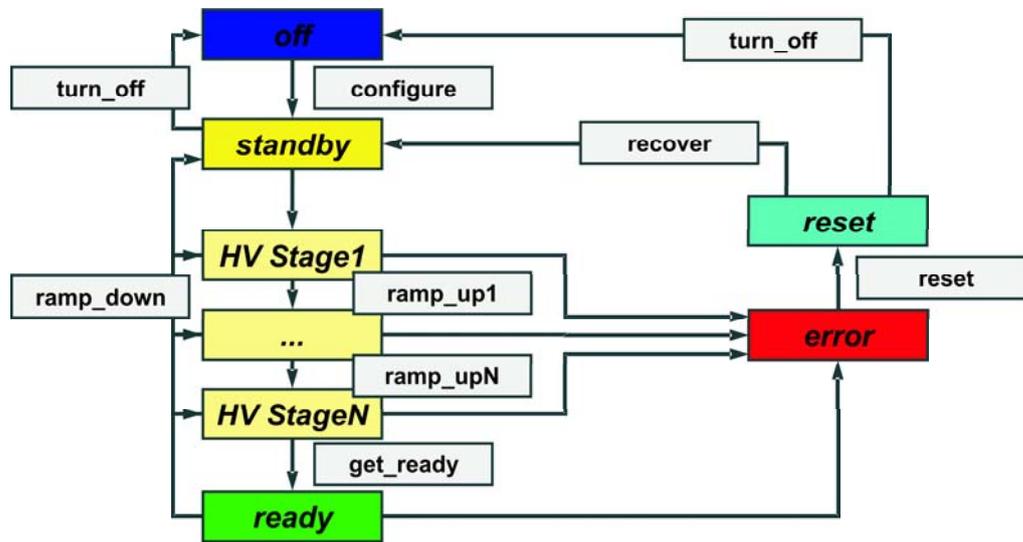


ABBILDUNG 3.15: Zustandsmodell eines fiktiven Detektors mit einem Hochspannungssystem

des Frontend-Systems in den Zustand 'standby' über. Der Übergang in den Zustand 'ready' erfolgt über detaillierte Zwischenschritte, welche in erster Linie von den Eigenschaften des Hochspannungssystems bestimmt werden. Im Zustand 'ready' ist der Subdetektor bereit für die physikalische Datennahme.

Weiter ist es möglich, den Subdetektor und damit das Versorgungssystem wieder auf kontrollierte Weise in den Zustand 'standby' zu bringen. Treten Fehler bei den Übergängen oder während eines Runs auf, so greifen über mehrere Zustände hinweg Wiederherstellungsverfahren [4].

Der Betrieb des gesamten Detektorkontrollsystems wird durch eine einfache Zustandsmaschine auf der Global Control Station (GCS) bewerkstelligt. Deren Zustände werden aus den einzelnen Zuständen der Subdetektoren gebildet. Alle Befehle, die auf der obersten Ebene Zustandsänderungen initiieren, werden an die Subdetektoren weitergereicht. Gleichzeitig wird jede Störung, die den normalen Betrieb eines Subdetektors gefährden kann, gemeldet und könnte je nach Gewicht mit einer Zustandsänderung des gesamten Detektorkontrollsystems in einen Fehler-Zustand münden.

Dies verdeutlicht, dass eine wohldefinierte Synchronisation zwischen dem Zustandsmodell im Detektorkontrollsystem und dem der DAQ Zustandsmaschine nötig ist, um einen sicheren Betrieb des Detektors zu gewährleisten. Die Grundlage hierfür bildet die Arbeit in Kapitel 5, welche erstmalig die dazu erforderliche Kommunikation zwischen den beiden Zustandsmaschinen untersuchte und sich daraus in Hinblick auf den Pixeldetektor eine Schnittstelle zwischen DAQ und DCS entwickeln ließ.

### 3.3.6 Netzwerk des Pixel Detektorkontrollsystems

Gemäß dem Partitionierungskonzept des TDAQ Systems müssten die Local Control Stations (LCS) des Pixel Detektorkontrollsystems den drei TTC Partitionen des Pixeldetektors (Endkappen, den Barrel und den B\_Layer) zugeordnet werden. Das würde im Besonderen bedeuten, dass eine LCS für die Überwachung und Kontrolle der Frontend-Komponenten einer Partition zuständig sein muss. Aufgrund der komplizierten Gruppierungen von elektrischen Zuleitungen und Service-Leitungen und deren Herausführung aus dem ATLAS Detektor verteilen sich aber die Elemente des Frontend-Systems einer TTC Partition auf beide unterirdischen Servicebereiche USA15 und US15 des Experiments. Dadurch ist eine direkte Auslese mit nur einem Rechner nicht mehr möglich.

Ein Lösungsansatz hierfür ist der eines verteilten Systems. Verteilte Systeme in PVSS II ermöglichen die Kopplung von zwei oder mehreren autonomen PVSS II Systemen über ein Netzwerk. Im einfachsten Fall besteht ein verteiltes System aus zwei miteinander kommunizierenden PVSS II Projekten auf unterschiedlichen Rechnern. Die Kopplung von verteilten PVSS II Systemen erfolgt dabei über einen eigenen Manager, dem Distribution-Manager.

Der Zugriff auf Daten in anderen Systemen geschieht wie der Zugriff auf Daten im lokalen System. Dabei werden Datenpunkte von Fremdsystemen nicht in das lokale System kopiert, was allerdings die Gefahr birgt, dass ein Zugriff auf diese Daten nur bei einer bestehenden Verbindung möglich ist, es dagegen aber keine Vervielfachung der Datenpunkte gibt. Jedes System kann die Daten der anderen Systeme verarbeiten und darstellen. Auch der Zugriff auf Alarmzustände und Historie eines jeden Systems ist gewährleistet.

Abbildung 3.16 gibt eine Gesamtansicht des Backend-Systems für das Pixel Detektorkontrollsystem basierend auf dem Konzept des verteilten Systems.

Zu sehen sind insgesamt vier so genannte Quarter PCs, die über den CAN-Bus für die Auslese einer bestimmten Anzahl von Frontend-Komponenten zuständig sind. Die Verteilung richtet sich dabei, wie eingangs erwähnt, nach den örtlichen Gegebenheiten und der Zuordnung der Frontend-Elemente in den Baugruppenträgern der beiden Servicebereiche. Des Weiteren ist ein Rechner mit der Aufnahme der Parameter der Pixeldetektor Infrastruktur betraut (InfraS PC). Die Niederspannungssysteme aus beiden Servicebereichen sind direkt über TCP/IP-Protokoll mit dem Netzwerk verbunden, werden aber auch von den Quarter PCs verwaltet.

Die Umgruppierung und eigentliche Weiterverarbeitung der Daten erfolgt dann über ein verteiltes System durch einen der vier Rechner, in der Abbildung mit B\_Layer, Layer\_1, Layer\_2 oder Disks bezeichnet.

Beide Rechnertypen bilden zusammen die in Abschnitt 3.1 eingeführte Ebene der Local Control Stations (LCS). Die Steuerung des gesamten Systems übernimmt nach Definition wieder die Subdetector Control Station (SCS).

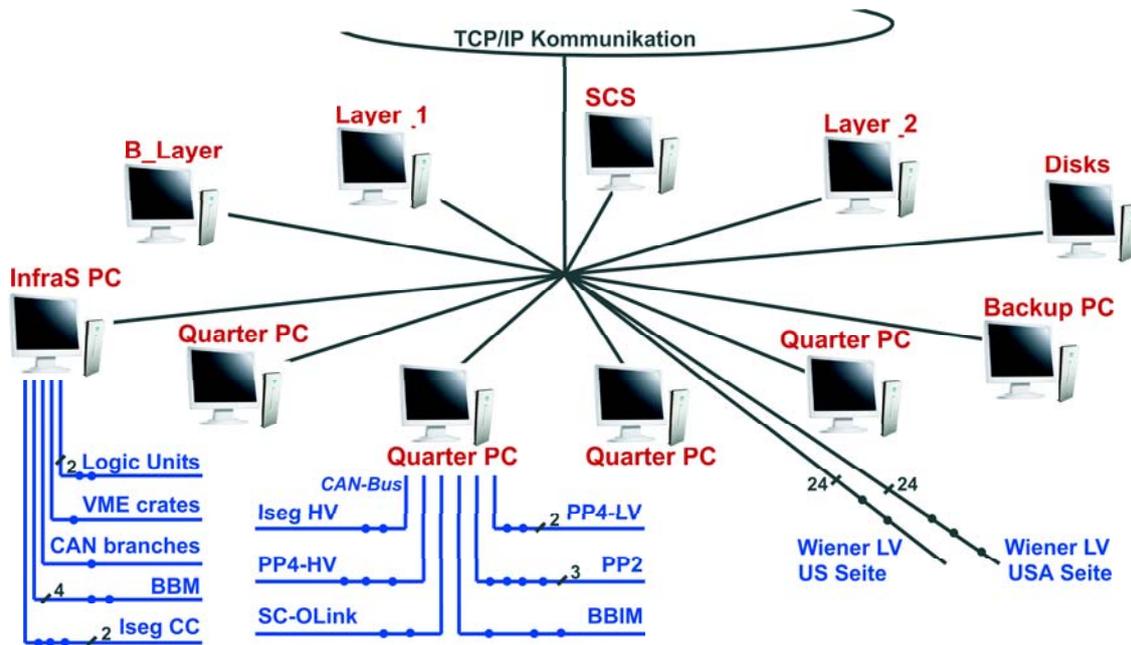


ABBILDUNG 3.16: Schematische Ansicht des Netzwerkes des Pixel Detektorkontroll-systems; alle Komponenten sind in einem gemeinsamen Local Area Network (LAN) miteinander verbunden

Zu bemerken bleibt, dass die Zuordnung der Local Control Stations (LCS) zu den TTC-Partitionen (vergleiche Abschnitt 2.4.4) des DAQ-Systems bisher auf Seite des Detektorkontroll-systems noch nicht umgesetzt worden ist. Dies kann erst mit der Einführung der geplanten Zustandsmaschine geschehen.

# Kapitel 4

## Das System Integration Tool

Die erstmalige Beteiligung des Detektorkontrollsystems an den Systemtest-Aufbauten waren zum einen motiviert durch den Bedarf der teilnehmenden Institutsgruppen<sup>1)</sup> bezüglich der dort eigenständig eingesetzten Detektorkontrollsystem-Komponenten. Damit verbunden war auch das Ziel, einen vermehrten Einsatz des Kontrollsystems unter realen Bedingungen zu erreichen. Zum anderen sollten Erfahrungen aus den jeweiligen Instituts-Aufbauten in die Entwicklung eines Kontrollsystems für die beide Aufbauten der Teststrahlperiode 2004 einfließen und zudem dabei helfen, Anforderungen an die DCS-Komponenten weiter zu fixieren. Aufgrund des stattfindenden gemeinsamen Einsatzes von physikalischer Datennahme und Kontrollsystem war es mit zunehmender Komplexität zusätzlich nötig, auch Nicht-DCS-Experten an die Bedienung eines Detektorkontrollsystems heranzuführen.

### 4.1 Das System Integration Tool 'Modul'

Ausgehend von ersten Studien zum Aufbau eines Backend-Systems in [34] wurde das Pixel Detektorkontrollsystem zunächst immer weiter an neue Gegebenheiten zum Teil per Hand angepasst. Im vermehrten Einsatz an den eingangs erwähnten zusätzlichen Testaufbauten, die ein Detektorkontrollsystem benötigten, kam es durch unterschiedliche Rahmenbedingungen der Aufbauten im Laufe der Zeit zu unterschiedlichen Versionen des Backend-Systems. Dadurch stieg der Wartungsaufwand enorm, da je eine exakte Kopie zur Fehlersuche in Wuppertal betrieben werden musste.

Ferner zeigten Erfahrungen aus der Teststrahlperiode 2003, dass das dort eingesetzte Detektorkontrollsystem auf Änderungen im Aufbau, wie zum Beispiel das Austau-

---

<sup>1)</sup>Neben der Universität Wuppertal sind zu nennen: Institute Nazionale Fisica Nucleare (INFN), Genua, Italien; Centre de Physique des Particules de Marseille (CPPM), Frankreich und Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), Berkeley, USA

schen von Detektormodulen, nur bedingt reagieren konnte. Dies lag hauptsächlich begründet in den starren Verknüpfungen zwischen den gewählten Auslesekanälen und der Software des Kontrollsystems. Die Verbindungen konnten nachträglich nur von einem DCS-Experten vor Ort verändert werden. Auch die Aufnahme von weiterer Frontend-Elektronik in das Kontrollsystem ließ sich nur mit Kenntnis der internen Struktur des SCADA-Systems durchführen.

Die Einführung der Frontend Integration Tools (FIT) verschaffte zwar eine Erleichterung bei der Integration von Frontend-Komponenten und ließ das Backend-System damit unabhängiger gegen unterschiedliche Testaufbauten werden, trotzdem musste sich der Benutzer die relevanten Daten, zum Beispiel bezüglich eines Detektormoduls, aus den einzelnen grafischen Benutzeroberflächen der FITs zusammensuchen. Nachteilig kam hinzu, dass der Benutzer dafür immer die jeweils aktuelle Verkabelung kennen musste, um die angezeigten Daten dem richtigen Detektormodul zuzuordnen zu können. Ein weiterer Missstand war, dass die dargestellten Messwerte kein benutzerfreundliches Format besaßen, so zeigte zum Beispiel die grafische Benutzeroberfläche des Frontend Integration Tool der ELMB nur den gemessenen Spannungsabfall über den Temperatursensor an und nicht die daraus berechenbare Temperatur.

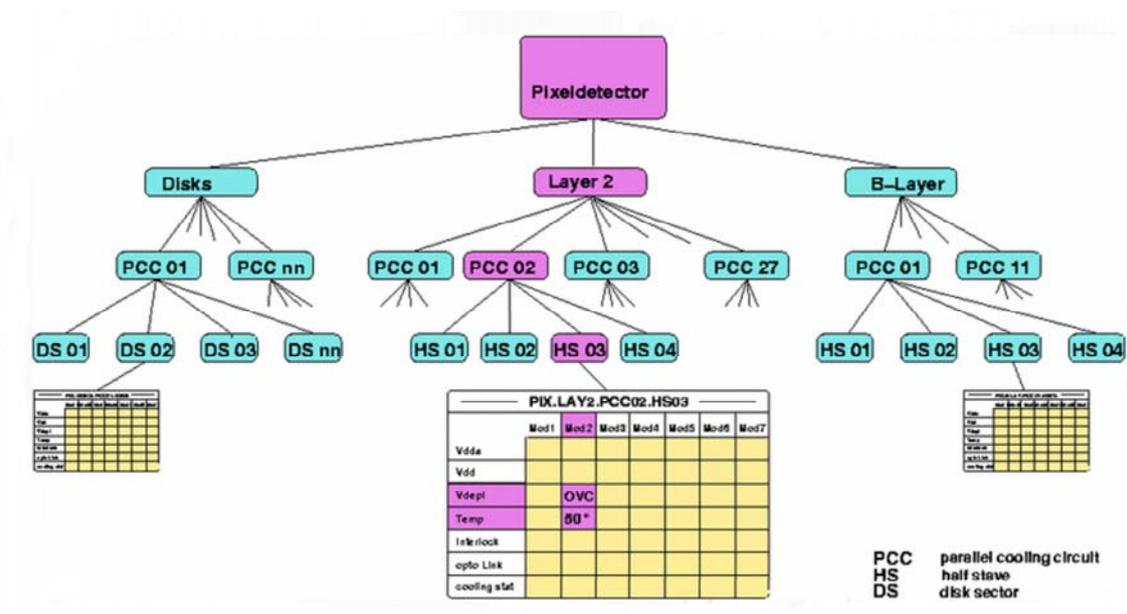


ABBILDUNG 4.1: geografischer Ansatz des Pixel Detektorkontrollsystems

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Probleme erstmalig aufgenommen und mit der Einführung des so genannten System Integration Tools (SIT) gelöst. Die Umsetzung basiert auf der Einführung eines geografischen Ansatzes für das Pixel De-

tektorkontrollsystem (siehe Abbildung 4.1) und unterscheidet sich damit komplett vom funktionalen Ansatz der Frontend Integration Tools (FIT).

So werden sämtliche Kanäle der Frontend-Elektronik, die zum Betreiben eines bestimmten Detektormoduls nötig sind, in einem einheitlichen Software-Element zusammengeführt und für den Benutzer visuell aufbereitet. Diese den Detektormodulen zugeordneten Elemente werden, der tatsächlichen Struktur des Pixeldetektors folgend, weiter zusammengefasst. Der so entstehende Baum bildet letztendlich den kompletten Pixeldetektor im Backend-System ab und erlaubt eine klare Kontrolle über eine große Anzahl von Informationen [35].

Für das Detektorkontrollsystem ist das Detektormodul die kleinste und wichtigste Einheit, auf das es wirken kann. Bedingt durch die Anwendung des DCS in den Systemtests beziehungsweise in den Teststrahl-Perioden, als nur wenige Detektormodule gleichzeitig betrieben worden sind, wurde daher zunächst das Detektormodul als Ausgangspunkt für ein erstes Software-Element gewählt. Der übergeordnete Baum wurde dabei nicht umgesetzt, da in den Aufbauten bei der geringen Anzahl der Detektormodule die in Kapitel 3 erwähnten Modularitäten der Versorgungssysteme zum Teil noch keine Anwendungen fanden. Außerdem mussten fehlende Frontend-Komponenten wie zum Beispiel das Niederspannungssystem bestehend aus Spannungsversorgung und Regulator lange Zeit durch herkömmliche Labornetzteile ersetzt werden mussten. Im Hinblick auf den notwendigen Systemtest am CERN, mit dem 10 % des Pixeldetektors parallel mit finaler Frontend-Elektronik betrieben werden müssen, und der damit einhergehenden, fortschreitenden Komplexität des Detektorkontrollsystems fand aber eine Erweiterung der vorliegenden Arbeit durch Umsetzung der übergeordneten Elemente statt (vergleiche [30]).

Das Software Integration Tool ist, genau wie die FITs, ein eigenständiges PVSS II Projekt und kann als Subprojekt in das Hauptprojekt des Pixel Detektorkontrollsystems aufgenommen werden (vergleiche Abbildung 3.12, Seite 61).

Basierend auf dem Datenpunkttyp von PVSS II wird zunächst durch Anlegen eines neuen Datenpunkttyps (DPT) die Struktur des Detektormoduls im Backend-System festgelegt. So beinhaltet dieser DPT Blätter für die Größen Modultemperatur, Strom und Spannung der Niederspannungsversorgung sowie Strom und Spannung der Hochspannungsversorgung. Sodann werden sämtliche Datenpunkttypen des Frontend Integration Tool nach bereits im Backend-System implementierter Frontend-Elektronik durchsucht, um diese dem Benutzer zur Verfügung zu stellen. Ferner werden eventuell schon im Datenpunkttyp des System Integration Tools eingebrachte Detektormodule auf bereits bestehende Verknüpfungen überprüft und diese gegebenenfalls für eine Auswahl durch den Benutzer gesperrt, um eine Doppelverkabelung auszuschließen. Über eine grafische Benutzeroberfläche ist es möglich, die tatsächliche Verkabelung eines Detektormoduls mit der Frontend-Elektronik auch virtuell im Backend-System vorzunehmen, wobei dazu umfangreiche Kontrollskripte im Hintergrund zur Anwendung kommen.

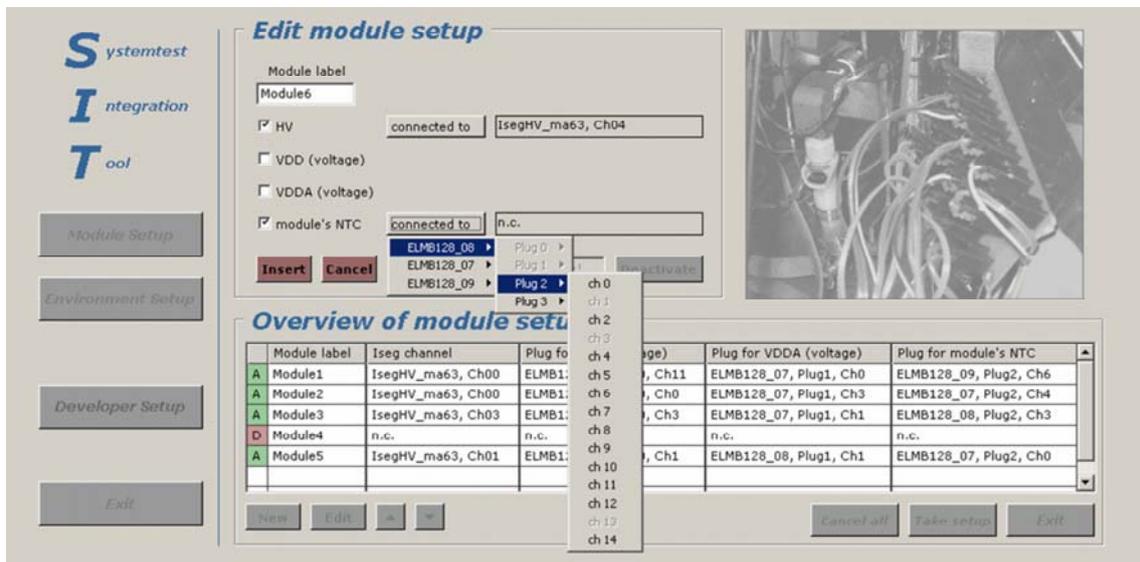


ABBILDUNG 4.2: Grafische Benutzeroberfläche des System Integration Tools für die Konfiguration eines Detektormoduls im Detektorkontrollsystem

Abbildung 4.2 zeigt die grafische Benutzeroberfläche zur Konfiguration der Verkabelung des Detektormoduls. In der oberen Hälfte zu sehen sind die vier Hauptparameter des Detektormoduls mit der Möglichkeit, den zugehörigen Kanal der Frontend-Elektronik auszuwählen – den Kanal der Hochspannung (HV), die Kanäle der beiden Niederspannungen (VDD) und (VDDA) und den Kanal des Temperatursensors. Bezüglich der Kanäle der Hochspannung ist es im SIT erlaubt, mehrere Detektormodule mit einem Kanal zu verbinden und damit die vom Experiment geforderte Modularität den unterschiedlichen Aufbauten anbieten zu können. Es stellte sich am Teststrahl heraus, dass diese Eigenschaft bei der Konfiguration des Aufbaus und während des Betriebs über Wochen rege genutzt wurde. Nötig wurde diese Eigenschaft sogar, als es zum Ausfall mehrerer Kanäle des verwendeten Hochspannungsmoduls kam und man zu einer Modularität größer 1 gezwungen war, um den Betrieb des Testaufbaus aufrecht zu erhalten.

Im Gegensatz dazu müssen die bereits verwendeten Auslesekanäle der eingesetzten ELMBs für eine weitere Auswahl durch den Benutzer gesperrt werden, wie an der aufgeschlagenen Leiste in Abbildung 4.2 zu sehen ist.

Eine bereits mit dem System Integration Tool erstellte Konfiguration eines Detektormoduls kann an dieser Stelle wieder verändert beziehungsweise bestehende Verknüpfungen wieder aufgehoben werden. Es ist zusätzlich möglich, momentan nicht verwendete Detektormodule zu deaktivieren (in Abbildung 4.2 mit Module4 bezeichnet) und deren Verbindungen damit wieder freizugeben. Durch die Wahl eines

eindeutigen Namens für das Detektormodul ist das Modul im Backend-System bestimmt.

Die Möglichkeit für den Benutzer, Detektormodule aus dem Backend-System komplett zu löschen, wurde bewusst nicht angeboten, ist aber für einen DCS-Experten über eine versteckte grafische Benutzeroberfläche möglich. Ein Löschen eines Detektormoduls bedeutet softwaretechnisch, dass innerhalb der Datenpunktstruktur der zugeordnete Datenpunkt (DP) gelöscht werden muss. Dieser Datenpunkt aber ist jene Datenstruktur, die das Prozessabbild des Detektormoduls enthält. Im Besonderen besteht hier die Verknüpfung zum PVSS II eigenen Speicherort der historischen Werte der Elemente des Datenpunkts. Diese Verbindung geht verloren, wenn der Datenpunkt nicht mehr existiert, womit keine historischen Daten mehr über das Detektormodul abrufbar wären.

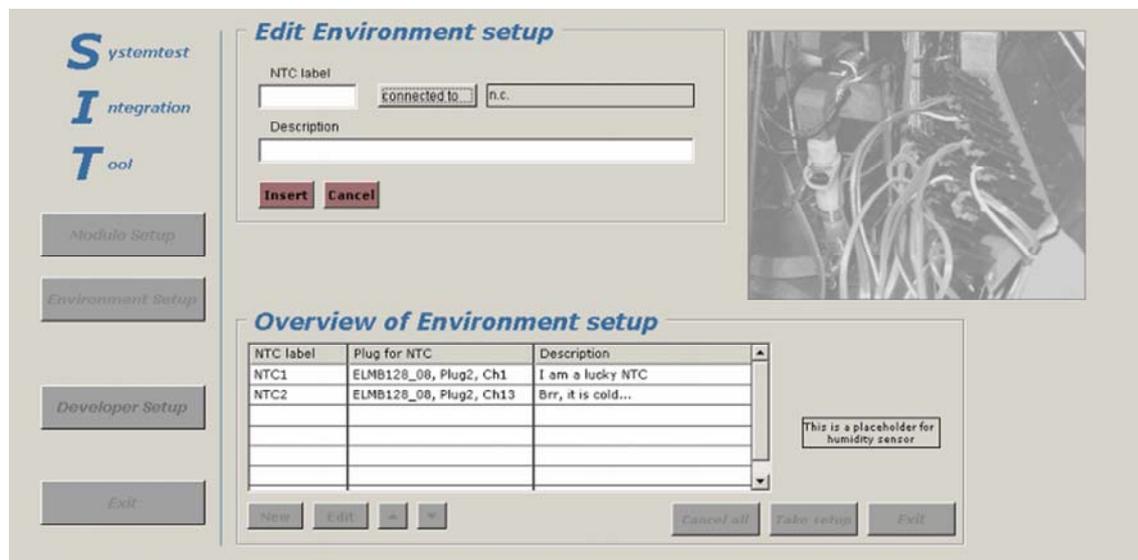


ABBILDUNG 4.3: Grafische Benutzeroberfläche des System Integration Tools für die Konfiguration der Umgebungsparameter im Detektorkontrollsystem

Eine weitere grafische Benutzeroberfläche (siehe Abbildung 4.3) wurde für die Implementierung der Temperatursensoren des jeweiligen Aufbaus bereitgestellt. So wurden zur notwendigen Kühlung der Detektormodule Kühlboxen verwendet und diese zur Überwachung der Innentemperatur mit Sensoren ausgestattet. Durch Definition eines zusätzlichen Datenpunkttyps, Verwendung von weiteren Kontrollskripten und Übernahme der eben beschriebenen Funktionalität war eine Umsetzung des geografischen Ansatzes auch für diese Komponente möglich.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass durch das System Integration Tool eine flexible Übersetzung des durch den FIT getriebenen, funktionalen Ansatzes in den

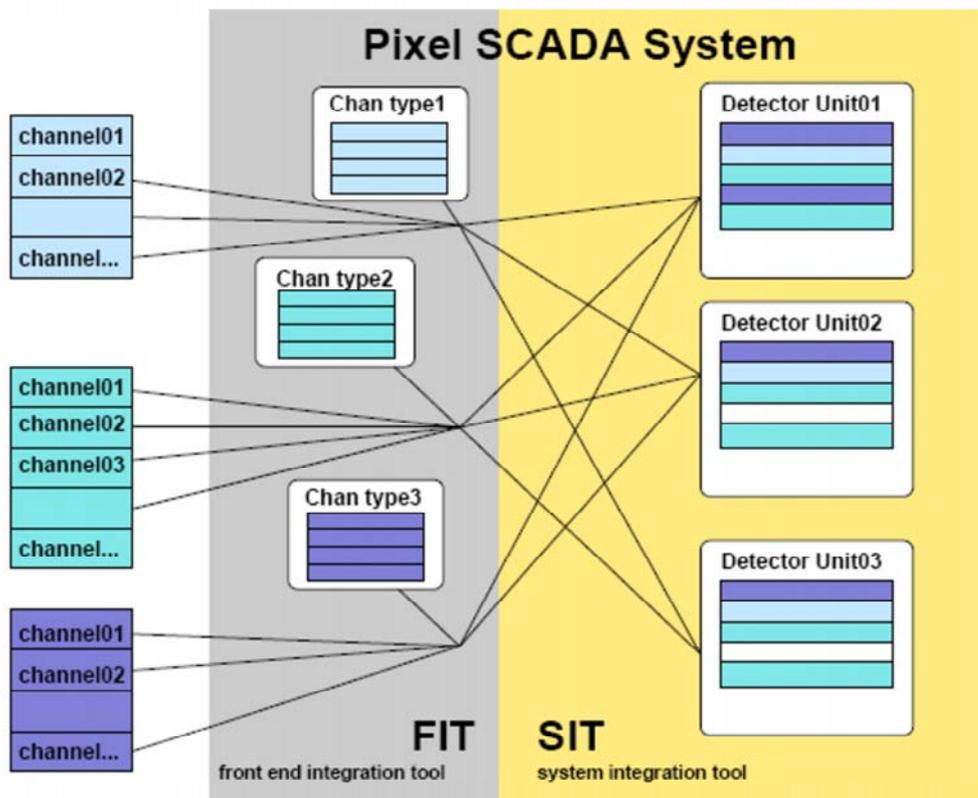


ABBILDUNG 4.4: Schematische Darstellung der Verknüpfungen von funktionaler und geografischer Struktur innerhalb des Pixeldetektorkontrollsystems

geografischen Ansatz erfolgt. Dies geschieht hauptsächlich dadurch, dass den Detektorobjekten (hier den Detektormodulen) die entsprechenden aufbereiteten Messwerte zugeordnet werden. Abbildung 4.4 gibt diesen Zusammenhang schematisch wieder.

Damit sich der Benutzer über den Zustand seines Aufbaus informieren kann, müssen die gemessenen Größen durch eine Prozessvisualisierung dynamisch dargestellt werden. Abbildung 4.5 zeigt als grafische Benutzeroberfläche eine Zusammenfassung aller relevanten Kenngrößen bezüglich der einzelnen Detektormodule tabellarisch im oberen Bereich, im unteren Bereich die Temperaturen an verschiedenen Stellen des Aufbaus. Ferner kann über zusätzliche Eingabefelder der Benutzer von dieser Oberfläche aus in das Detektorkontrollsystem eingreifen, um zum Beispiel den Sollwert eines einzelnen Kanals der Hochspannung zu verändern, ohne dafür die grafischen Benutzeroberflächen der Frontend Integration Tools aufrufen zu müssen.

Somit bildet diese grafische Oberfläche des System Integration Tools (SIT) zusam-

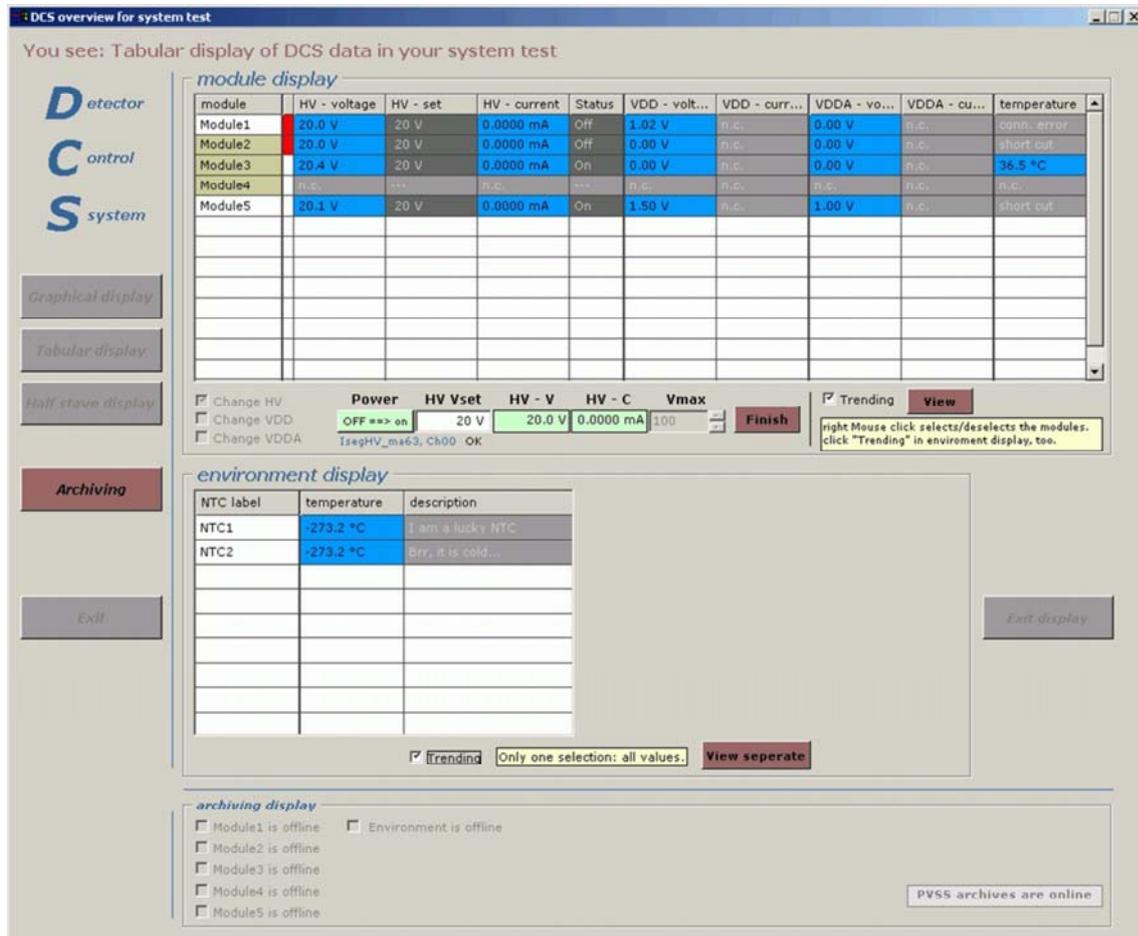


ABBILDUNG 4.5: Schnittstelle des Detektorkontrollsystems zum Benutzer

men mit der dahinter liegenden Umsetzung des geografischen Ansatzes die eigentliche Schnittstelle zwischen dem Detektorkontrollsystem und dem Benutzer, welche erstmalig für das Pixel Detektorkontrollsystem durch die vorliegende Arbeit umgesetzt werden konnte.

Um dem Benutzer die Möglichkeit zu geben, Kenngrößen des Detektormoduls über einen längeren Zeitraum, zum Beispiel zur Fehlersuche oder zum Studium des Langzeitverhaltens, beobachten zu können, wurden sämtliche Daten archiviert. Zur grafischen Darstellung wurde wiederum vom System Integration Tool eine Benutzeroberfläche zur Verfügung gestellt (Abbildung 4.6). Zu bemerken ist dabei, dass die PVSS II eigenen Werkzeuge zur flexiblen Darstellung historischer Daten sehr beschränkt sind. Eine Alternative dazu bildet die in der Hochenergiephysik weit verbreitete und am CERN entwickelte Software ROOT zur Darstellung dieser Daten. Eine erste Implementierung in das Pixel Detektorkontrollsystem erfolgte in [30].

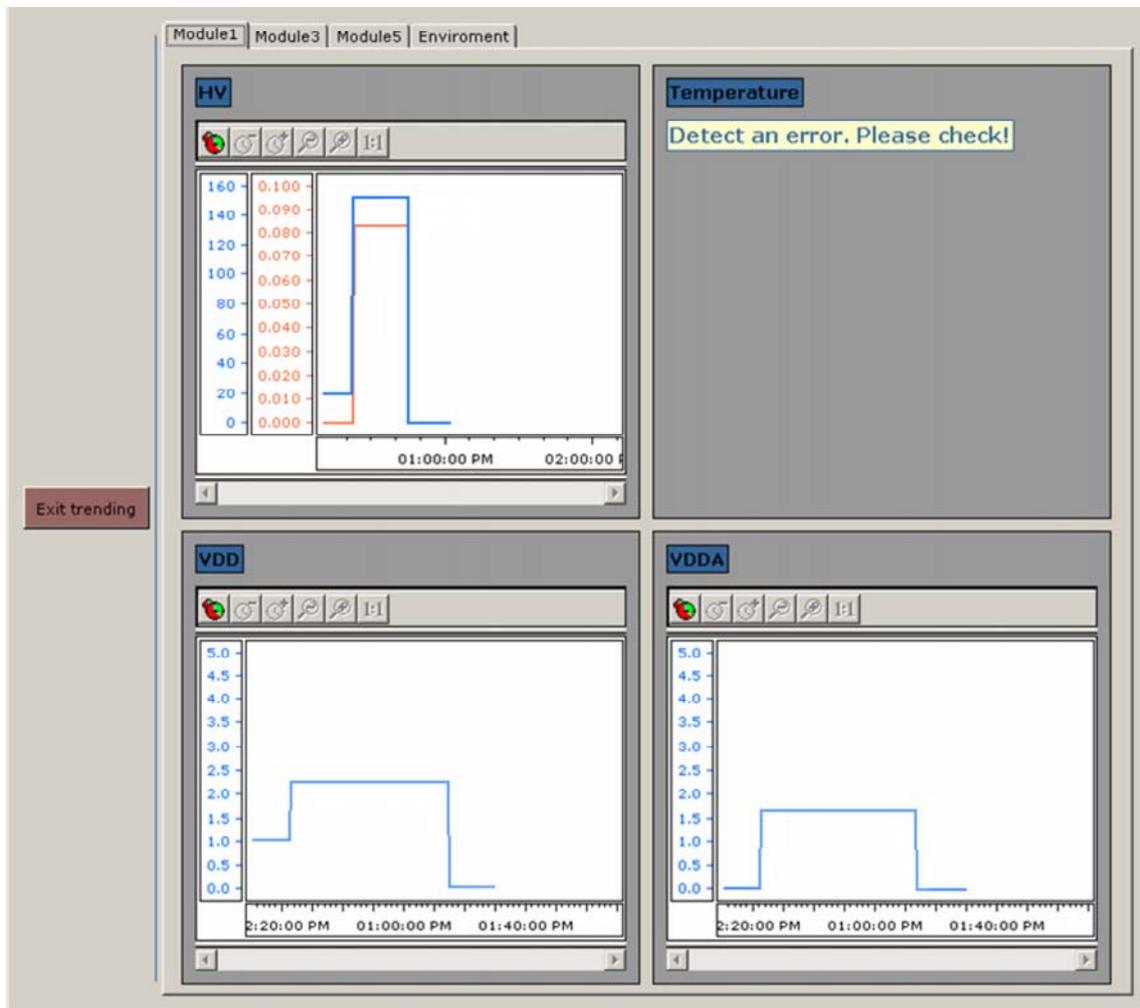


ABBILDUNG 4.6: Grafische Benutzeroberfläche zur Darstellung von historischen Daten

## 4.2 Zusammenfassung und Ausblick

Sämtliche zurzeit existierenden Aufbauten, an denen das Pixel Detektorkontrollsystem beteiligt ist, verwenden bis heute das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte System Integration Tool. Zwar ist es im Laufe der Zeit durch neue Benutzeroberflächen wie zum Beispiel die Umsetzung der tabellarischen Ansicht in eine grafische Darstellung oder eine selbst-skalierende Histogrammierung erweitert worden, aber der Grundgedanke des geografischen Ansatzes und dessen Umsetzung im Backend-System sind geblieben.

Erfahrungen aus der Teststrahlperiode sowie Rückmeldungen der Institute zeigen

daher eine große Akzeptanz des im Rahmen dieser Arbeit entwickeltes System Integration Tools. Es ist gelungen, die Gruppierung von DCS-Daten so darzustellen, dass Anwender und Nicht-DCS-Experten einen aussagekräftigen System-Überblick erhalten. Darüber hinaus ist es nun möglich, Störungen im Aufbau schnell und effektiv im Detektorkontrollsystem zurückzuverfolgen.

Die hier gezeigten Arbeiten bestätigen weiterhin den modularen Aufbau des Pixel Detektorkontrollsystems, welcher auf der Integration verschiedener PVSS II Subprojekte in ein einzelnes PVSS II Hauptprojekt beruht. So ließ sich zum Beispiel auf unterschiedliche Anforderungen seitens der Aufbauten individuell eingehen, ohne jeweils komplette Systeme bereitstellen zu müssen. Bei wachsender Größe des Pixel Detektorkontrollsystems ist es durch dieses Konzept ferner möglich, dass mehrere Personen gleichzeitig, aber unabhängig voneinander, Neuentwicklungen einbringen können.

Die eingeführte Datenpunktstruktur des System Integration Tools ist zurzeit der beste Anknüpfungspunkt für weitere DCS Projekte. Als solche sind neben einer DCS Zustandsmaschine auch die Kommunikation zwischen der Detektorkontrolle und Datennahme und die Anbindung der Conditions-Datenbank zu nennen. Durch die im SIT gemachte Gruppierung aller zugehörigen Daten eines Detektorelementes in einer gemeinsamen Struktur, stehen diese Informationen den anderen Projekten bereits direkt zur Verfügung.

Das hier beschriebene System Integration Tool diene weiterhin als Grundlage für die Entwicklung des 'SIT Detektors', welches die dem Detektormodul-Element übergeordneten Ebenen der in Abbildung 4.1 gezeigten Hierarchie aufnehmen kann [30].

# Kapitel 5

## DAQ-DCS Communication

Die allgemeine Überwachung des ATLAS Experiments beinhaltet zum einen die Abfrage und Kontrolle aller Betriebsparameter des Detektors und zum anderen die Beaufsichtigung jener Prozesse, die an der reinen Ereignisauslese beteiligt sind. Diese Funktionalität wird durch zwei sich ergänzende Systeme unterstützt. So kontrolliert das Data Acquisition System (DAQ) alle nötigen Software-Prozesse und Hardware-Einheiten, welche für eine physikalische Datennahme benötigt werden. Die Detektorkontrolle hingegen verwaltet Überwachungs- und Kontrollfunktionen, die Infrastruktur des Detektors sowie die Handhabung der Kommunikation mit externen Systemen, wie zum Beispiel mit dem Detector Safety System (DSS).

Das Detektorkontrollsystem baut nach 3.3.2 auf das SCADA System PVSS II auf, während die Datennahme auf der Online Software basiert (vergleiche 2.4). Beide besitzen unterschiedliche Aufgaben und Anforderungen.

Um eine stete Überwachung aller Betriebsparameter und damit das sichere Betreiben des Detektors zu gewährleisten, muss das Detektorkontrollsystem kontinuierlich betrieben werden. Das System der Datenacquisition wird dagegen nur gebraucht, wenn physikalische Daten genommen werden oder zum Beispiel Kalibrationen durchgeführt werden müssen. Erfahrungen aus anderen Experimenten haben gezeigt, dass die Zeit, in der keine Datennahme physikalischer Ereignisse stattfindet, für Optimierungen und Erweiterungen des DAQ Systems genutzt werden. Folglich müssen beide hier angesprochenen Systeme unabhängig voneinander agieren können [4].

### 5.1 Anforderungen

Die beschriebene Unterteilung darf aber nicht die Funktionalität und die Leistung der gesamten Überwachung limitieren. Daher bedarf es für den kohärenten Betrieb von ATLAS in einem hohen Maße einer Koordination zwischen DAQ und DCS bis hinunter auf die Subdetektorebene [4]. Die Anforderungen des Pixeldetektors an eine solche Koordination sind sehr vielfältig.

Prinzipiell lassen sich die Anforderungen wie folgt zusammenfassen:

- Nach Abschnitt 2.4.4 ist für den Betrieb des Pixeldetektors ein eigener DAQ Controller in die Zustandsmaschine 'Run Control' integriert. Wird der Pixeldetektor unabhängig von den anderen Detektoren des ATLAS-Experimentes betrieben, sollte dieser Controller die Hauptkontrolle über den ganzen Subdetektor, im Besonderen über die Zustandsmaschine des Detektorkontrollsystems, besitzen. Daher müssen beide Zustandsmaschinen aufeinander abgestimmt sein. Das bedeutet, dass Zustandsänderungen des Controllers mit Befehlen verbunden werden müssen, die das Pixel Detektorkontrollsystem verstehen und umsetzen kann. Dabei kann nur das Pixel Detektorkontrollsystem definieren, welche pixelspezifischen Befehle zugelassen und wie diese auszuführen sind. Es muss festzulegen sein, welche Auswirkungen ein Befehl bei unterschiedlichen Ausführungszuständen auf das DAQ System haben soll.
- Es muss vorgesehen sein, auf Teilkomponenten des Detektors und deren DCS-Kenngrößen aus pixelspezifischen DAQ Applikationen heraus einwirken zu können, ohne den momentanen Gesamtzustand des Detektors zu verändern und damit die physikalische Datennahme zu unterbrechen. So kann es vorkommen, dass während des Betriebs Teile des Detektors ausfallen oder nachkalibriert werden müssen. Als Beispiel wäre ein Abtasten der Spannungen des Optoboards vorstellbar, um durch Variation die optische Datenübertragung zu optimieren. Auch hier muss gelten, dass nur das Pixel Detektorkontrollsystem den Satz von Befehlen mit all ihren Eigenschaften bestimmt.
- Das Pixel Detektorkontrollsystem ist zuständig für die Überwachung aller pixelspezifischen Betriebsparameter. Das schließt bestimmte Hardware-Elemente des DAQ Systems mit ein. Hier kann zum Beispiel die Aufnahme von Kenngrößen wie Ströme oder Temperaturen zur vorzeitigen Fehlererkennung durch das Detektorkontrollsystem dienen. Die für die optische Datenübertragung unverzichtbaren Back of Crate Karten (BOCs) sind hoch empfindliche elektronische Baugruppen, die die optischen Signale für den Readout Driver (ROD) elektrisch aufbereiten. Fällt ein BOC aus, so sind die genommenen Daten der zugeordneten Detektoreinheit verloren. Da die Back of Crate Karten keine eigenen Schnittstellen zum Detektorkontrollsystem besitzen, ist lediglich eine Überwachung über eine Kommunikation zwischen DAQ und DCS möglich.
- Ebenso wichtig ist der Austausch von pixelspezifischen Daten vom Detektorkontrollsystem zum DAQ-System während eines Tunings der DAQ Hardware, wie zum Beispiel erneut der Back of Crate Karte. Ein automatisiertes Lesen von DCS Parametern, im Speziellen der Laserströme, könnte helfen, weitere Kenngrößen auf der DAQ-Seite besser einzustellen.
- Im Hinblick auf die zeitliche Korrelation der Daten aus beiden Systemen ist weiterhin ein Austausch nötig. So sind die Daten des DAQ Systems an der

Runnummer und die der Detektorkontrolle an einem Gültigkeitsintervall orientiert. Spätestens bei der Speicherung der Betriebsparameter für anschließende Analysen ist deren zugehörige Runnummer für die richtige Zuordnung enorm wichtig.

- Treten unerwartete, insbesondere kritische Zustandsänderungen im Pixel Detektorkontrollsystem auf, muss das DAQ System in Form von Meldungen darüber informiert werden. Diese Nachrichten müssen für den Anwender sichtbar und leicht verständlich sein. Ferner sind sie mit anderen Mitteilungen zu protokollieren, um das Entstehen eines Fehlverhaltens im weiteren Verlauf besser verstehen zu können.
- Zuletzt muss das Pixel Detektorkontrollsystem einen Satz von Funktionen und die dazugehörigen grafischen Benutzeroberflächen bereitstellen, um alle Aspekte der eingesetzten Kommunikation während des Betriebs testen zu können.

## 5.2 Schnittstelle

Eine Schnittstelle für den beschriebenen kommunikativen Austausch zwischen einer PVSS II Applikation oder im Speziellen einem Detektorkontrollsystem und einer DAQ Applikation wird durch das Softwarepaket DDC (DAQ-DCS Communication) bereitgestellt. Es wurde von der ATLAS DCS Gruppe entwickelt und ist Teil des ATLAS DAQ Online Softwarepakets.

Das Softwarepaket stellt drei Möglichkeiten für die unterschiedlichen Arten der Kommunikation zur Verfügung:

- Bidirektionaler Austausch von Daten zwischen DCS und DAQ (*Data-Transfer*)
- Übergabe von DAQ Kommandos für das DCS (*Command-Transfer*)
- Transfer von DCS Meldungen für die DAQ (*Message-Transfer*)

Jede dieser Funktionen ist als eigenständige Komponente in die Schnittstelle DDC integriert. Damit ist gewährleistet, dass alle Elemente ihre volle Funktionalität behalten, und das unabhängig vom Zustand der anderen. Während der Startprozedur wird jede Komponente aus einer Datenbank initialisiert, wobei als Speicherort die für die physikalische Datennahme zuständige Konfigurations-Datenbank zur Verfügung steht.

Als Verbindungspunkte der Schnittstelle DDC dienen auf der Seite der Datennahme weitere Elemente der Online Software, namentlich der 'Information Service' (IS), der 'Error Report Service' (ERS) und die DAQ Zustandsmaschine 'Run Control' (RC).

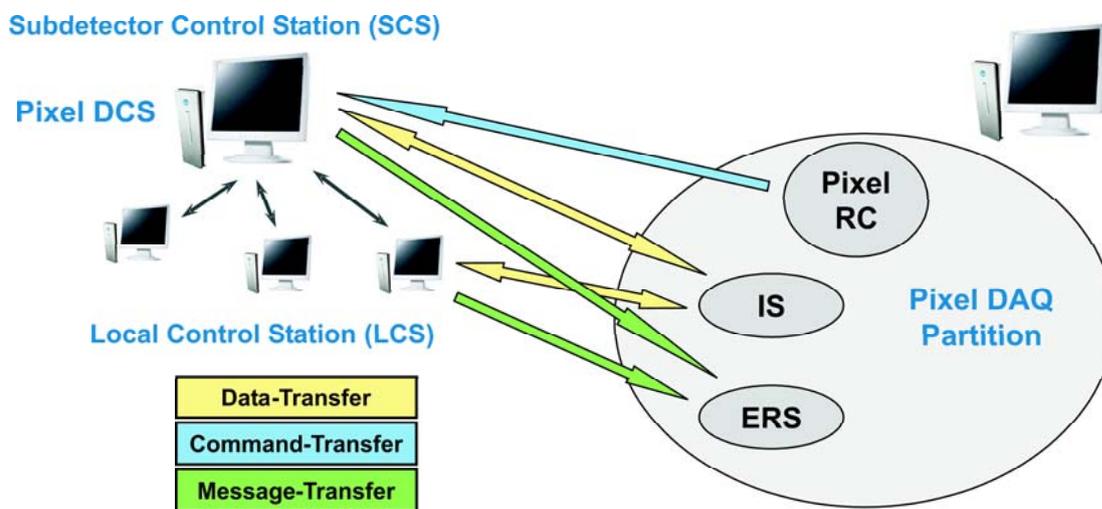


ABBILDUNG 5.1: Schematische Übersicht der DDC Komponenten

Der Anknüpfungspunkt auf Seite der Detektorkontrolle ist zunächst die Datenpunktstruktur sowie deren Werte in der Echtzeit-Datenbank des PVSS II Projekts. Bezüglich des Command-Transfers beschränkt sich dies aus Sicht der Pixel Detektorkontrollsystems auf die Subdetector Control Station (SCS), welche die DCS Zustandsmaschine beheimatet (siehe Abschnitt 3.3.5). Für den Data- und Message-Transfer sind keine Einschränkungen vorhanden.

Im Folgenden wird auf die in Abbildung 5.1 schematisch dargestellten Komponenten detailliert eingegangen. Hierbei werden die Begriffe 'subscribe' oder 'Subscription' auftauchen, welche in diesem Zusammenhang 'asynchrones Lesen' bedeuten und auch mit dem Begriff 'anmelden' belegt werden. So erhält die subscribierende (sich anmeldende) Applikation zunächst den anfänglichen Wert der zu lesenden Variablen, danach wird sie automatisch über jede Veränderung des Wertes verständigt [36].

### 5.2.1 Data-Transfer

Die Komponente für den Data-Transfer erlaubt den bidirektionalen Austausch von Daten zwischen einem Detektorkontrollsystem und dem Information Service einer DAQ Partition. Zunächst werden nach dem Start dieser Kommunikation die jeweiligen in der globalen Konfigurations-Datenbank des TDAQ Systems definierten Datenziele mit den Werten ihrer entsprechenden Quellen abgeglichen. Über den Anmeldeprozess erfolgt im Weiteren ein Auffrischen der Daten in einem System, bei Werteänderung im anderen System.

### **Datentransfer von DCS nach DAQ**

Sämtliche Datenpunktelemente innerhalb PVSS II können zum Datentransfer freigegeben werden. Im Falle der Übertragung einer Variablen werden deren momentaner Wert und der Zeitstempel ihrer letzten Änderung zu einem Objekt zusammengefasst und gemeinsam an den Information Service geschickt. Gleiches gilt für den Typ Array, wobei sämtliche Werte die gleiche Zeitmarke erhalten. Ist dagegen das Datenpunktelement ein Datenverbund<sup>1)</sup>, so werden alle Elemente dieser Struktur einzeln mit einer eigenen Zeitmarke in den Information Service eingetragen.

### **Datentransfer von DAQ nach DCS**

Aus einer DAQ Applikation heraus können Daten in Form von Einzelwerten, Arrays oder als Datenverbund einem Detektorkontrollsystem zur Verfügung gestellt werden, indem diese im Information Service hinterlegt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Benennung der Daten mit der Bezeichnungskonvention der Daten innerhalb der Konfigurations-Datenbank übereinstimmt. Entsprechend müssen auch innerhalb von PVSS II gleich bezeichnete Datenpunkte mit übereinstimmenden Datentypen vorhanden sein. Im Fall eines zu übertragenden DAQ Datenverbund wird dieser als Baum in PVSS II definiert, wobei dessen Struktur dann vollständig zu übernehmen ist.

Als Zeitstempel innerhalb des Detektorkontrollsystems erhalten alle Datenformen die Auffrischzeit der Variable im Information Service, die auf der internen Systemzeit der Online Software basiert<sup>2)</sup>.

### **Anforderung von DCS Daten**

Eine weitere Möglichkeit der Datenübertragung ist die spezielle Anforderung von DCS Daten aus einer DAQ Applikation heraus. So kann jede Variable des Detektorkontrollsystems einmalig gelesen werden, solange der Name des Datenpunktelements bekannt ist. Es erfolgt ein bleibender Eintrag des zum Zeitpunkt der Nachfrage aktuellen Wertes zusammen mit seinem Zeitstempel in dem gewählten Information Service. Eine Werteänderung innerhalb von PVSS II wird nicht mehr übermittelt. Zusätzlich können DAQ Applikationen die Funktionalität dieser Komponenten nutzen, um weitere Daten aus dem Detektorkontrollsystem zu subscribieren oder Einträge aus dem Information Service nachträglich zu entfernen. Somit lässt sich ein DCS Datensatz für die Übertragung nach Gebrauch dynamisch erweitern beziehungsweise verkleinern.

---

<sup>1)</sup>PVSS II Struktur, eine Mischung aus verschiedenen Datentypen wie float, integer, bool usw. (siehe Abbildung 3.8, Seite 56)

<sup>2)</sup>Ausgenommen DAQ Objekte, denen explizit eine Zeit zugeordnet ist.

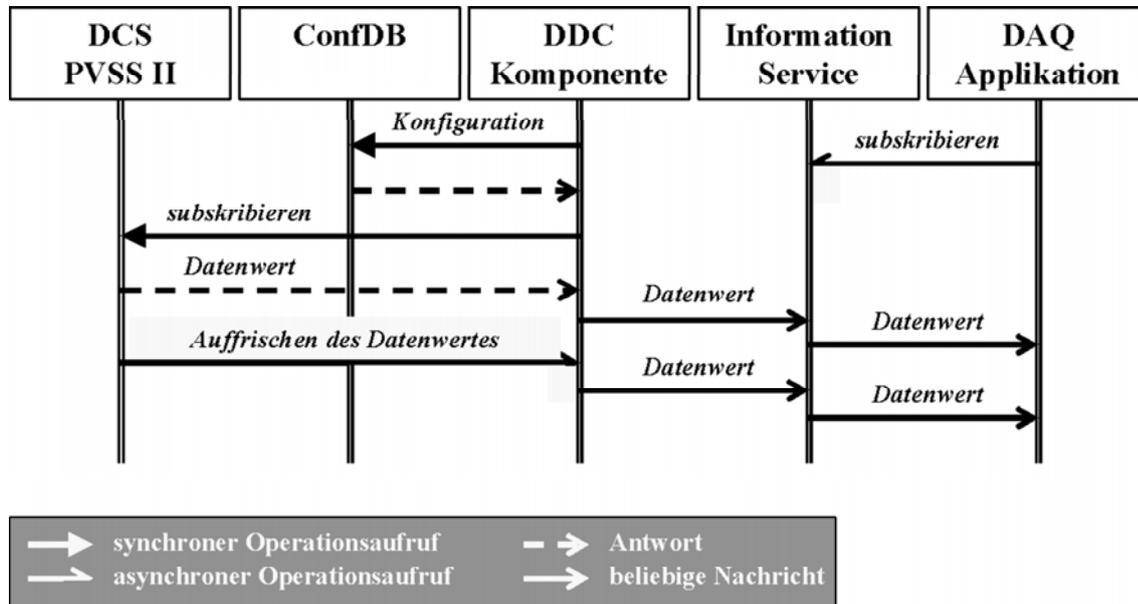


ABBILDUNG 5.2: Sequenzdiagramm DAQ → DCS Data-Transfer

Abbildung 5.2 gibt folgenden Arbeitsablauf der Komponente als Sequenzdiagramm<sup>3)</sup> wieder:

1. Herstellung der Verbindung zum PVSS II System und Einlesen der Konfiguration aus dem Datenbankverbund
2. Einmaliges Lesen und Schreiben aller Elemente, die in der Konfigurations-Datenbank für den Datentransfer spezifiziert sind
3. Anmeldung aller Elemente und damit Auffrischen der Daten bei Werteänderung in beiden Systemen
4. Ausführung von asynchronen Anfragen von DAQ Applikationen nach Daten durch nachträgliche Anmeldung
5. Ausführung von asynchronen Anfragen von DAQ Applikationen, die eine Erweiterung oder Verkleinerung des aktuellen DCS Datensatzes fordern

<sup>3)</sup>Das Sequenzdiagramm beschreibt die zeitliche Abfolge von Interaktionen zwischen einer Menge von Objekten innerhalb eines zeitlich begrenzten Kontextes. Die Zeitlinie verläuft senkrecht von oben nach unten. Die Objekte werden durch senkrechte Lebenslinien beschrieben, und die gesendeten Nachrichten werden waagrecht, entsprechend ihrem zeitlichen Auftreten, eingetragen.

### 5.2.2 Command-Transfer

Die Komponente für den Command-Transfer ist zunächst als Controller (bezeichnet mit DDC\_CT) in die DAQ Zustandsmaschine 'Run Control' integriert und folgt damit deren Zustandsmodell (vergleiche 2.4.5). Das bedeutet, dass diese DDC Komponente ebenfalls als Zustandsmaschine fungiert. Ihre Zustände werden dabei durch einen internen Status<sup>4)</sup> des Controllers beschrieben, der angibt, ob der geforderte Zustand erfolgreich erreicht werden konnte oder nicht [37].

#### Not\_Ready\_for\_DAQ

Die Zustandsmaschinen für die Datennahme und für das Detektorkontrollsystem werden per Definition unterschiedliche Zustandsmodelle besitzen, wobei es nicht vorgesehen ist, dass detaillierte Informationen über den Ist-Zustand des Detektors dem zuständigen Controller bekannt gemacht werden. Vielmehr wird mit der booleschen Variablen 'Not\_Ready\_for\_DAQ' nur die zusammengefasste DCS Information, ob der Detektor für eine physikalische Datennahme bereit ist oder nicht, der DAQ angezeigt. Diese Variable wird nach Start der Komponente regelmäßig abgefragt.

Ist die Marke während der Startprozedur eines Runs gesetzt, ist es dem DDC Controller nicht erlaubt, die Zustände 'ready' oder 'running' anzunehmen, womit zum Beispiel ein Starten des Runs mit diesem Controller nicht mehr möglich ist. Wird die Marke während eines Runs gesetzt, so fällt der DDC Controller in den Zustand 'error'. Welche Reaktion die Datennahme zeigen muss, liegt im Zuständigkeitsbereich der DAQ Zustandsmaschine.

#### Transition-Befehl

Ein entsprechend konfigurierter DDC Controller ist in der Lage, DAQ Befehle, die mit Übergängen der Controller-eigenen Zustandsmaschine verknüpft sind, an ein Detektorkontrollsystem zu übermitteln. Ein solcher Befehl wird als 'Transition-Befehl' bezeichnet. Empfänger auf der DCS-Seite wird die Zustandsmaschine der Detektorkontrolle sein.

Initiiert ein Transition-Befehl ein Detektorkontrollsystem (siehe Abbildung 5.3), wird in der Kontrollsoftware PVSS II ein zugeordneter Datenpunkt gesetzt, welcher ein dazugehöriges Kontrollskript zur Ausführung bringt. Während die im Skript wohldefinierten DCS Aktionen abgearbeitet werden, wird in dieser Zeit der interne Status des Controllers auf die Marke 'busy' gesetzt. Dieser Status kann erst wieder vom Kontrollskript über den Datenpunkt frei gegeben werden. Nur ein erfolgreiches Ausführen der DCS Aktionen lässt die gewünschte Zustandsänderung des Controllers und damit der übergeordneten DAQ Zustandsmaschine 'Run Control' zu, wobei der Status von 'busy' auf 'not\_error' wechselt. Kommt es dagegen zu Fehlern auf

---

<sup>4)</sup>Die möglichen Zustände entsprechen den Fehlercodes.

der DCS Seite, so wird der interne Status auf 'error' gesetzt und der Controller verbleibt im Ausgangszustand<sup>5)</sup>.

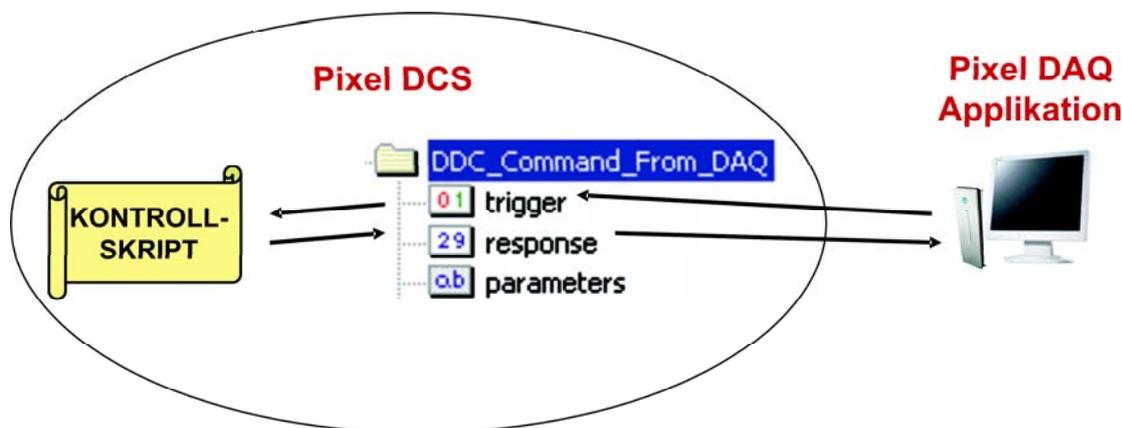


ABBILDUNG 5.3: Abhandlung eines Transition-Befehls innerhalb der Pixel Detektorkontrolle

### NonTransition-Befehl

Zusätzlich erlaubt der Controller einen weiteren Befehl, der mit 'NonTransition-Befehl' bezeichnet ist. Er kann zu jedem Zeitpunkt ausgeführt werden und besitzt keinen Einfluss auf die Zustandsmaschine des Controllers, da die Rückmeldung der NonTransition-Befehle über den Information Service der Online Software erfolgt, damit nicht auf den internen Status des Controllers wirkt. Er basiert ebenfalls auf der in Abbildung 5.3 gezeigten Datenpunktstruktur. Mit dieser verbunden sind ebenso Kontrollskripte. Wie für die Transition-Befehle obliegt es dem Entwickler zu definieren, wann Parameter als gültig gesetzt werden oder ob eine Befehlsausführung in bestimmten Systemzuständen erlaubt ist.

Mit dem Befehl erhält ein Subdetektor zusammen mit seinen spezifischen DAQ Applikationen ein sehr mächtiges Werkzeug. Es ermöglicht, auf einzelne Detektor-komponenten einwirken zu können, sei es funktional auf Stromversorgungssysteme oder geografisch auf Detektormodule, ohne den Betrieb des gesamten Detektors einzuschränken. Gleichzeitig birgt dies Gefahren, so dass mit Vorsicht gehandelt werden muss.

Abbildung 5.4 zeigt die Abarbeitung eines Transition-Befehls als Sequenzdiagramm.

<sup>5)</sup>Ist für einen bestimmten Übergang kein Transition-Befehl definiert, wechselt der Controller augenblicklich in den gewünschten Zustand.

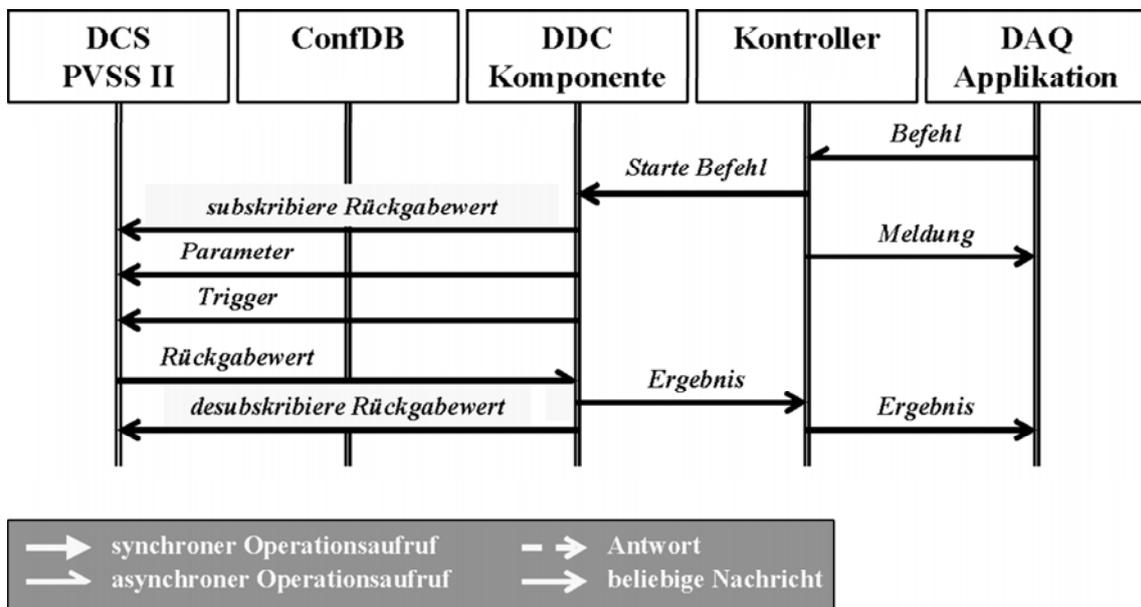


ABBILDUNG 5.4: Sequenzdiagramm Command-Transfer, Transition-Befehl

1. Mit der Zustandsänderung 'load' des übergeordneten Kontrollers wird die Verbindung zum PVSS II System hergestellt und die Konfiguration aus dem Datenbankverbund gelesen
2. Ausführung des Transition-Befehls, welcher der Zustandsänderung 'load' zugehörig ist
3. Überwachung der Marke 'Not\_Ready\_for\_DAQ'
4. Asynchrone Annahme und Ausführung von Transition-Befehlen bei Zustandsänderung und von NonTransition-Befehlen durch DAQ Applikationen

Abschließend sei bemerkt, dass das Detektorkontrollsystem die einzige Umgebung ist, die definiert, welche DAQ Befehle akzeptiert werden, wie diese im DCS auszuführen sind und welche Auswirkungen sie in der Datennahme haben.

### 5.2.3 Message-Transfer

Die Komponente für den Message-Transfer wird benutzt, um Meldungen aus dem Detektorkontrollsystem in dem Online Software Element Error Reporting Service (ERS) der zugehörigen DAQ Partition bekannt zu geben. Diese stehen allen in dieser Partition definierten DAQ Applikationen zur Weiterverarbeitung zur Verfügung.

Meldungen können innerhalb des Detektorkontrollsystems auf zwei Arten generiert werden: sowohl durch Setzen von Textvariablen als auch aus dem PVSS II eigenen Meldekonzept<sup>6)</sup> heraus.

Damit DCS Nachrichten ihrer Wichtigkeit gemäß im Error Reporting Service richtig eingestuft werden, muss jede DCS Mitteilung eine Gewichtung erhalten.

Meldungen, die mittels Setzens einer bestimmten Text-Variablen und damit über ein dem ERS bekanntes Datenpunktelement versendet werden, erhalten ihre Einstufung durch eine entsprechende Parametrisierung dieses Datenpunktelements in der DAQ Konfigurations-Datenbank.

Innerhalb des Meldekonzepts hingegen unterteilt der Anwender den Wertebereich einer Variablen standardmäßig in fünf Meldebereiche und versieht sie mit unterschiedlicher Meldepriorität und Meldetexten. Hier erfolgt das Versenden einer Meldung bei Übergang des Variablenwertes von einem Meldebereich zum anderen. Gemäß Tabelle 5.1 müssen aber die Grenzen der Meldebereiche der Gewichtung, wie sie in der Online Software definiert ist, angepasst werden.

Priorität in PVSS II	Gewichtung der Meldung
$p \leq 10$	INFORMATION
$10 < p \leq 20$	DIAGNOSTIC
$20 < p \leq 50$	WARNING
$50 < p \leq 80$	ERROR
$80 < p$	FATAL

TABELLE 5.1: Übersetzung von PVSS II Meldeprioritäten in die Gewichtung

Abbildung 5.5 gibt folgenden Arbeitsablauf der Komponente als Sequenzdiagramm wieder:

1. Herstellung der Verbindung zum PVSS II System und Einlesen der Konfiguration aus dem Datenbankverbund
2. Anmeldung der Alarme und Variablen
3. Asynchrone Übertragung von DCS Alarmen aus der Meldebehandlung oder bei Setzen von benutzerdefinierten Meldungen zum 'Error Report Service'

<sup>6)</sup>Das Meldekonzept ist ein fester Bestandteil des Datenpunktkonzeptes und beschreibt die Behandlung von kritischen Prozesszuständen. Als Grundlage dienen die entsprechenden Normen VDI/VDE 3699 sowie DIN 19235.

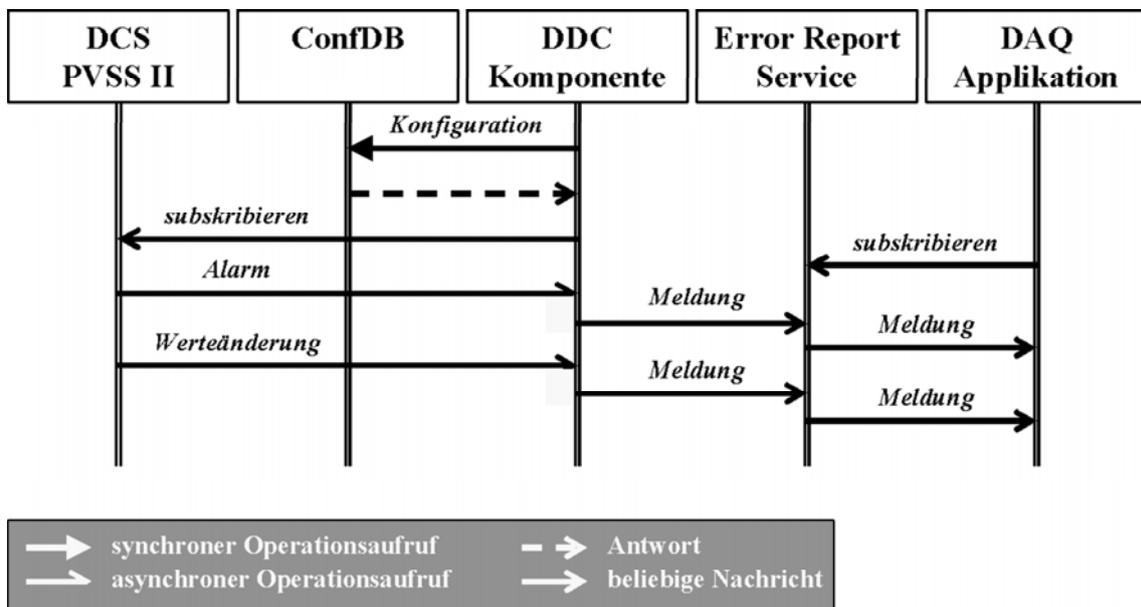


ABBILDUNG 5.5: Sequenzdiagramm Message-Transfer [36]

### 5.3 Erfahrungen mit der Schnittstelle DDC

Nachdem der in dieser Arbeit entwickelte Prototyp eines Kommunikationpakets im Jahr 2003 zunächst unter Laborbedingungen erprobt werden konnte<sup>7)</sup>, standen für 2004 der Aufbau aus den Teststrahlperioden des „Combined Test Beams“ für den Einsatz der Schnittstelle unter experimentellen Bedingungen zur Verfügung.

Die Integration der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Konfiguration der Schnittstelle in das bestehende System am CERN erfolgte im Juli 2004 vor Ort. Ferner wurde das vorhandene Detektorkontrollsystem um das ebenfalls vom Autor neu entwickelte PVSS II Projekt „ATLASPixDCS\_DDC“ erweitert. Sodann konnte untersucht werden, ob die Schnittstelle DDC in der Lage war, die Anforderungen des Pixeldetektors zu erfüllen. Während der Teststrahlperiode wurde die Konfiguration an weitere Bedürfnisse des Testaufbaus angepasst.

Die gesamte Einsatzdauer am „Combined Test Beam“ betrug etwa 5 Monate.

<sup>7)</sup>Während der Teststrahlperiode 2003 stand nur ein auf das Auslesesystem 'TurboDAQ' basierender Aufbau zur Verfügung, welcher nicht die Komponenten der Online Software nutzen kann.

### 5.3.1 Integration in die ATLAS Umgebung

Die gesamte Konfiguration, im Besonderen die Partitionierung der physikalischen Datennahme, ist als Dateiverbund in der Konfigurations-Datenbank hinterlegt. Per Definition ist ein DDC-Paket mit seinen drei Komponenten für die Kommunikation zwischen einer einzelnen DAQ Partition und der dazugehörigen DCS Applikation zuständig. Benötigt eine DAQ Partition den Austausch mit zwei oder mehreren PVSS II Systemen, so muss die gleiche Anzahl von DDC Schnittstellen zur Verfügung gestellt werden. Das Einbringen einer Schnittstelle DDC und damit einer entsprechenden DCS Applikation in die zugehörige DAQ Partition erfolgt als Segment (vergleiche Abschnitt 2.4.4). Dazu müssen beide Elemente durch Einträge in den zugehörigen Datenbankdateien und durch Setzen von Umgebungsparametern einander bekannt gemacht werden (Näheres siehe [38]).

Im Rahmen dieser Arbeit wurde zum ersten Mal in der Softwareumgebung des „Combined Test Beams“ eine funktionsfähige DCS Applikation als Segment in die Partition des Pixeldetektors integriert.

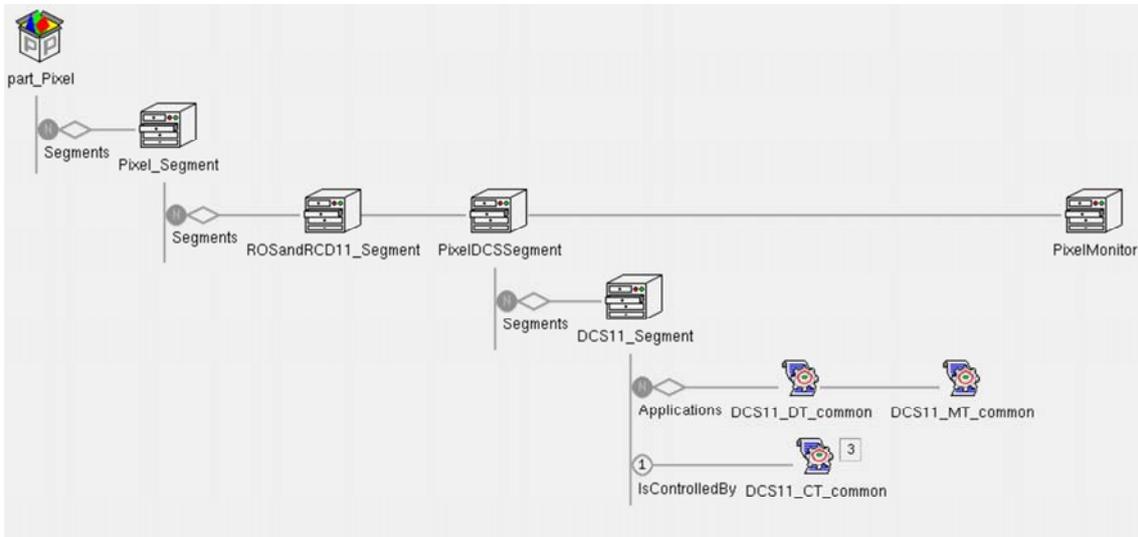
Abbildung 5.6(a) zeigt die grafische Benutzeroberfläche des Datenbankverwaltungsprogramms aus dem Dateiverbund heraus. Dort ist die Pixel Partition mit 'part\_Pixel' bezeichnet. Diese enthält neben den beiden für die Detektormodulverwaltung definierten Segmenten 'ROSandRCD11\_Segment' und 'PixelMonitor' auch das DCS Segment 'PixelDCSSegment'. Im späteren Experiment wäre dies der Ort der Schnittstelle DDC gewesen. Zu Testzwecken wurde aber die eigentliche Schnittstelle eine weitere Ebene tiefer, als ein Untersegment 'DCS11\_Segment' in das DCS Segment eingefügt<sup>8)</sup>. Zu sehen sind ferner die Komponente 'DCS11\_CT\_common' für die Übergabe der DAQ Befehle sowie als Kontroller des Segments und die beiden weiteren DDC Applikationen 'DCS11\_DT\_common' für den bidirektionalen Austausch der Daten und 'DCS11\_MT\_common' für den Transfer der DCS Meldungen.

Um in den gesamten Verbund des „Combined Test Beams“ aufgenommen zu werden, musste eine Kopie der Pixel Partition 'part\_Pixel' mit geänderten Einstellungen als Segment in die für alle Subdetektoren gültige Partition 'part\_Combined' integriert werden. Das zeigt schematisch Abbildung 5.6(b). Zu sehen sind neben den Segmenten der anderen teilnehmenden Subdetektoren von ATLAS, wie zum Beispiel das des Detektors SCT mit 'SCTSegment' oder des LiquidArgon mit 'LARG', auch das dem Pixeldetektor zugehörige Segment 'Pixel\_Segment', zusammen mit der aus Abbildung 5.6(a) bekannten Unterstruktur.

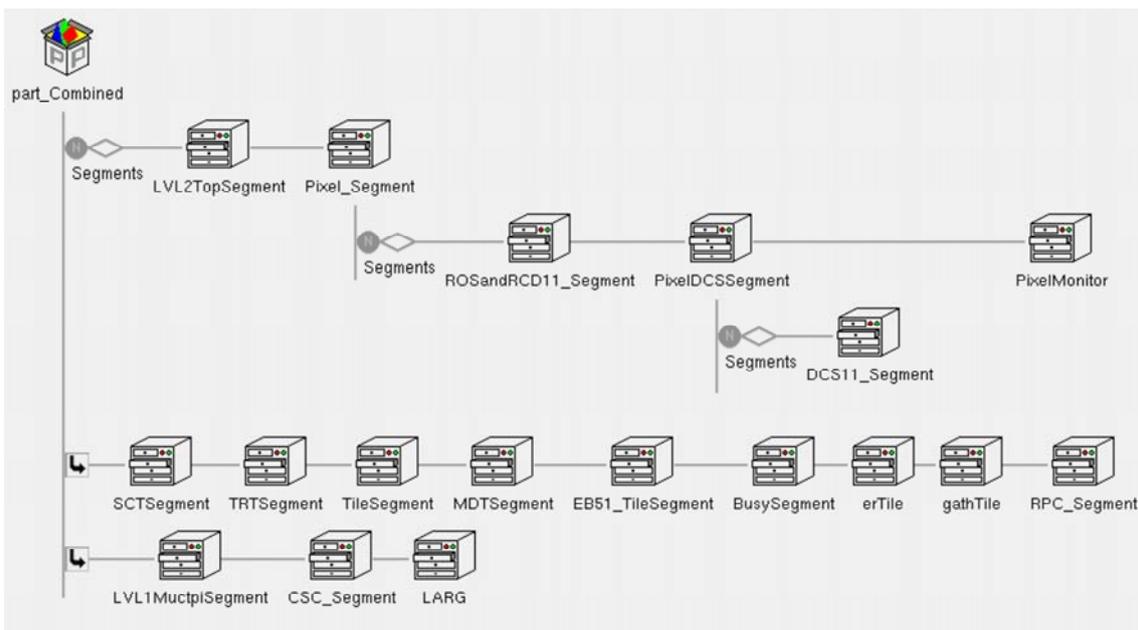
Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Integration des DCS Segments sehr erfolgreich verlaufen ist. Es bildete die Grundlage für das zuverlässige Arbeiten

---

<sup>8)</sup>Durch die Konfiguration war es technisch einfacher, weitere DCS Segmente, die zum Beispiel nur temporär für weitere Entwicklungen an der Schnittstelle gebraucht wurden, während des Betriebs zu integrieren beziehungsweise wieder zu entnehmen. Wichtig zu bemerken ist, dass es keinen Einfluss auf die hier gemachten Erfahrungen hatte.



(a) DCS Segment in der Pixel-Partition



(b) DCS Segment in der Combined-Partition

ABBILDUNG 5.6: Integration des DCS Segments in die jeweiligen Partitionen

der pixelspezifischen Schnittstelle DDC mit anderen Applikationen der Partitionen 'part\_Pixel' sowie 'part\_Combined'. Das Detektorkontrollsystem war damit für die Zeit des Einsatzes der Schnittstelle ein aktiver Teilnehmer der physikalischen Datennahme.

### 5.3.2 DDC für das Optoboard

Eine wichtige experimentelle Anwendung der pixelspezifischen Schnittstelle DDC am „Combined Test Beam“ fand sich in der Notwendigkeit des Rücksetzens des dort verwendeten Optoboards.

Wurden Veränderungen zwischen zwei Runs an der Back of Crate Karte (BOC) vorgenommen oder lag sehr viel Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Runs, mussten die zugehörigen Konfigurationsparameter, wie zum Beispiel Laserströme oder Delays, neu in den BOC geschrieben werden. Das Senden dieser Daten war unter anderem erst nach einer vorherigen Initialisierung des BOCs möglich. Durch die Initialisierung aber verlor das in der Detektorausleseketten befindliche Optoboard seine Referenz zu dem 40 MHz-Systemtakt und ließ eine physikalische Datennahme nicht mehr zu.

Ein Reset-Signal auf dem Optoboard ließ sich nun dazu benutzen, den DORIC, der den Systemtakt und die Daten decodiert und sie an die Detektormodule weiterleitet, zurückzusetzen. Denn durch die Initialisierung des BOCs produzierte dieser Chip für die Detektormodule standardmäßig zunächst nur einen Takt von 20 MHz. Erst nach dem Reset-Signal erfolgte die Umstellung des Optoboards auf den benötigten 40 MHz-Takt, wodurch eine neue Parameterisierung des BOCs sowie die physikalische Datennahme für den nächsten Run wieder möglich wurde.

Vermehrt in der Anfangszeit kam es zusätzlich zu nicht gewollten Ausfällen in der Verbindung zwischen BOC und Optoboard. Bedingt durch die Gegebenheiten vor Ort, musste das verwendete Optoboard unmittelbar neben den Detektormodulen im Sperrbereich des Teststrahls aufgebaut werden. Das hatte bei Problemen zur Folge, dass das Optoboard während eines Runs von außen nicht mehr zurückgesetzt werden konnte und dieser Run für den Pixeldetektoraufbau verloren ging. Die Tatsache, dass das Optoboard nicht zugänglich war, wird im späteren Experiment ebenfalls vorliegen, so dass der nun folgende Sachverhalt auch später zur Anwendung kommen wird.

Mit Installation eines SC-OLinks am „Combined Test Beam“ war die Ausführung des Reset-Signals aus dem Detektorkontrollsystem heraus möglich (vergleiche Abschnitt 3.2.3). Um das Rücksetzen des Optoboards mit der DAQ zu korrelieren und damit von DCS Seite eine erfolgreiche Datennahme zu gewährleisten, kam die Schnittstelle DDC zum Einsatz. Weil eine eventuelle Initialisierung des BOCs vor der Initialisierung eines Runs stattfinden sollte, konnte eine entsprechende DCS Aktion mit einem Übergang der DAQ Zustandsmaschine 'Run Control' verbunden werden. Als Zeitpunkt des Reset-Signals wurde der Übergang 'load' der DAQ Zustandsmaschine gewählt, da erst mit dessen Ausgangszustand 'configured' ein Transfer über die Schnittstelle DDC möglich war. Ferner wurden im Detektorkontrollsystem alle notwendigen Ausführungsschritte automatisiert und in einer einzigen DCS Aktion zusammengefasst. Abbildung 5.7 gibt die schematische Darstellung der neu geschaffenen Befehlskette wieder.

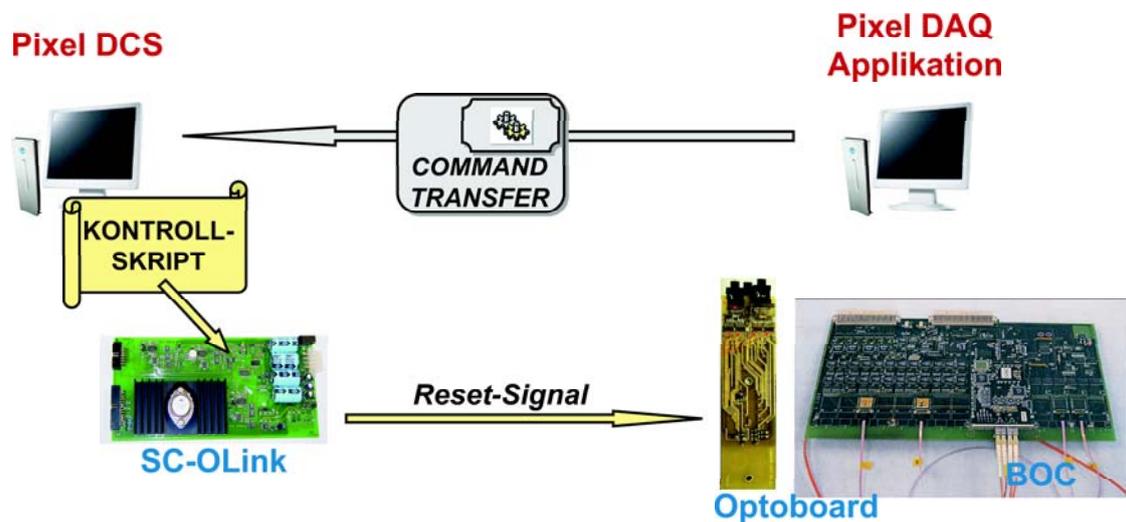


ABBILDUNG 5.7: Schematische Darstellung des Rücksetzvorgangs des Optoboards unter Benutzung eines Transition-Befehls

Auch beim benötigten Rücksetzen durch Ausfall der Ausleseketten während eines Runs konnte die Schnittstelle DDC einen wichtigen Beitrag leisten. Durch eine entsprechende Konfiguration innerhalb des Detektorkontrollsystems war es möglich, das Reset-Signal des SC-OLinks zusätzlich durch einen NonTransition-Befehl zu initiieren (siehe auch 5.12(c)). Dadurch konnte DCS dazu beitragen, die physikalische Datennahme während eines Runs wieder aufzunehmen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass damit die Anwendung der Schnittstelle DDC in Form eines Transition-Befehls als auch in Form eines NonTransition-Befehls für das vorliegende Beispiel sehr erfolgreich verlief und damit am „Combined Test Beam“ die Anforderungen des Pixeldetektors in Bezug auf die DDC Komponente 'Command Transfer' voll erfüllte.

### 5.3.3 Schnittstelle zur DCS Zustandsmaschine

Im späteren Experiment wird auf der obersten Hierarchieebene des Detektorkontrollsystems eine DCS Zustandsmaschine (FSM) für ganz ATLAS betrieben. Diese wird von der DAQ Zustandsmaschine für ATLAS mit Transition-Befehlen über die Schnittstelle DDC angesteuert. Die Weitergabe auf DCS Seite an die Subdetektoren erfolgt mittels FSM Befehlen, die über Zustandsänderungen auf Subdetektorebene entsprechende DCS Aktionen auf die jeweilige Frontend-Elektronik erzwingen. Auf DAQ Seite gilt ähnliches. Hier ist es die FSM 'Run Control' der Hauptpartition, die ihre Steuerbefehle an die Zustandsautomaten der Segmente weitergibt.

In der Aufbauphase und im Besonderen auch zu Testzwecken und Fehlersuche im späteren Experiment müssen auf der Ebene der Subdetektoren beide Zustandsautomaten so konfiguriert sein, dass ein gemeinsamer Betrieb unabhängig von den anderen Subdetektoren und damit von der ATLAS Umgebung möglich ist.

Das bedeutet insgesamt, dass die DCS Zustandsmaschine eines Subdetektors zum einen auf Anweisungen der übergeordneten Ebene und zum anderen auf Transition-Befehle der zugeordneten DAQ Zustandsmaschine 'Run Control' des Subdetektors reagieren muss. Letzteres passiert im Fall des Pixeldetektors über die pixelspezifische Schnittstelle DDC.

Damit eine Kommunikation zwischen den Zustandsautomaten möglich ist, muss im Detektorkontrollsystem der zuvor empfangene Transition-Befehl in einen FSM Befehl übersetzt werden. Ersten Diskussionen mit der ATLAS DCS Gruppe [39] folgend wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Prototyp einer Schnittstelle zwischen DDC und FSM entwickelt und innerhalb des Pixel Detektorkontrollsystems am „Combined Test Beam“ getestet.

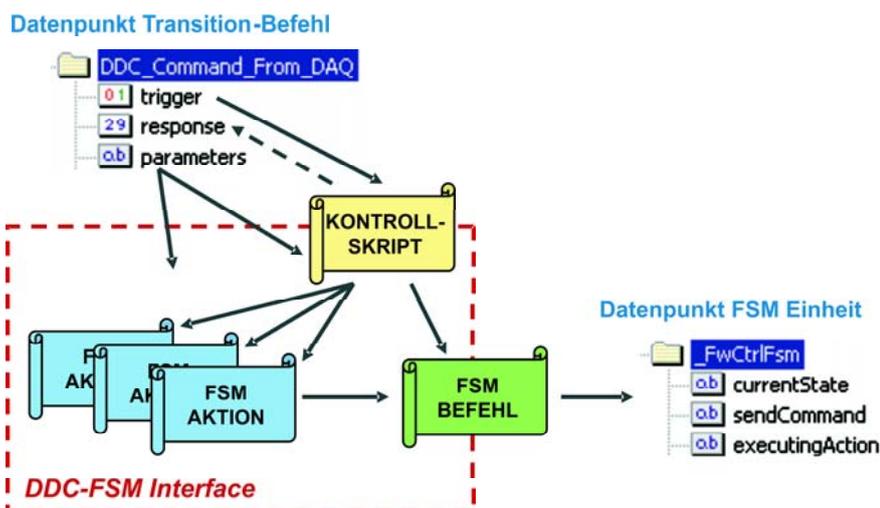


ABBILDUNG 5.8: Interface DDC-FSM

Die Arbeitsweise der Schnittstelle ist in Abbildung 5.8 veranschaulicht. Durch das Datenpunktelement 'trigger' eines Transition-Befehls werden die Parameter, die von der DAQ zusammen mit diesem Befehl übergeben wurden, in die Schnittstelle eingelesen und gleichzeitig wird das in der Schnittstelle diesem Transition-Befehl zugeordnete Kontrollskript angestoßen. Hier wird das Kommando zunächst in eine Abfolge von FSM Aktionen<sup>9)</sup> umgeschrieben, diese zur Ausführung gebracht und der

<sup>9)</sup>Zu beachten ist der Unterschied zu einem FSM Befehl. Der Befehl ruft die eigentliche Zustandsänderung auf, während FSM Aktionen, wie in Abschnitt 3.3.5 beschrieben, das System auf einen FSM Befehl vorbereiten.

entsprechende FSM Befehl mitsamt Parametern generiert. Letzterer wirkt auf die vorgegebene Datenpunktstruktur der Kontrollelemente der DCS Zustandsmaschine.

Während des „Combined Test Beams“ stand im Detektorkontrollsystem kein Zustandsautomat zur Verfügung. Daher wurde zusätzlich im Rahmen dieser Arbeit aufgrund der vorhandenen Datenpunktstruktur eine funktionale Implementierung einer DCS Zustandsmaschine vorgenommen. Somit konnte die vorhandene Einbettung des Frontend Integration Tools 'FIT Iseg HV' als Grundlage dafür benutzt werden, eine Hochspannungsversorgung als Geräteeinheit einer FSM zu simulieren. Diese ist nach Abbildung 5.9(a) mit 'PS1', das zuständige Kontrollelement mit 'HV\_System' bezeichnet. Zu sehen ist ferner, dass diese Kontrolleinheit neben vier anderen Mitglied der übergeordneten Kontrolleinheit 'Layer\_2' ist. Um das Prinzip der Schnittstelle zu testen, reichte für die Definition der möglichen Zustände und Zustandsänderungen eine minimale Konfiguration aus. Das Verhalten der insgesamt sechs Kontrolleinheiten sowie der einen Geräteeinheit wird durch Abbildung 5.9(b) bestimmt. Während die Kontrolleinheiten ihren Zustand aus der Verknüpfung der Zustände der untergeordneten Einheiten bilden, wurde das Verhalten der Geräteeinheit durch Simulation bestimmt. Das heißt, dass alle mit einem FSM Befehl auf die Hardware zu wirkenden Prozesse nachgeahmt wurden.

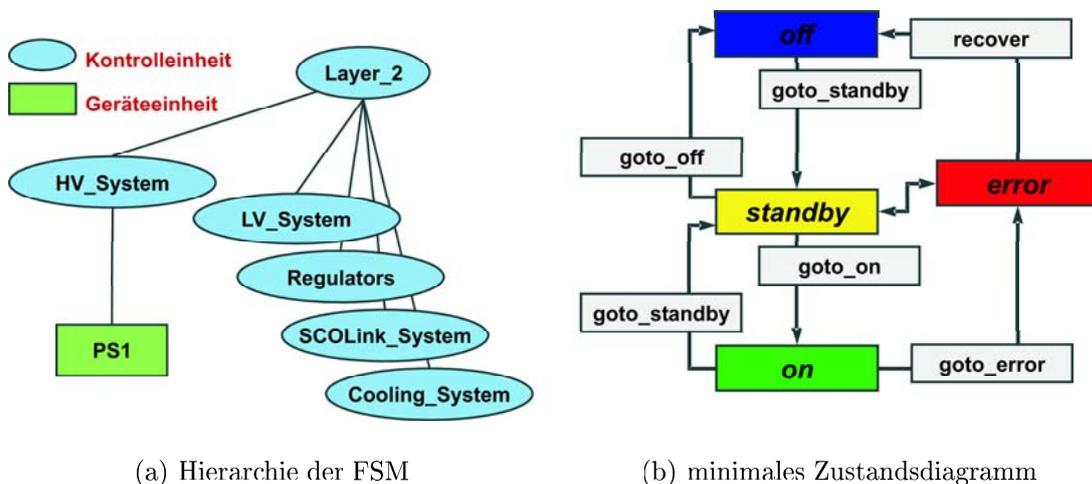


ABBILDUNG 5.9: Modell der DCS Zustandsmaschine am „Combined Test Beam“

Während des „Combined Test Beams“ wurde vorübergehend ein Teil der Übergänge der DAQ Zustandsmaschine 'Run Control' mit Übergängen der so definierten DCS Zustandsmaschine verknüpft. Nachfolgendes Beispiel gibt das gesamte Szenario mit der Wirkung der Schnittstelle auf die DAQ Zustandsänderung 'load' wieder, welche das Detektorkontrollsystem in den DCS Zustand 'standby' bringen soll:

- Das Detektorkontrollsystem erhält via der Schnittstelle DDC den Transition-Befehl 'load'.
- Das Kontrollskript führt alle notwendigen FSM Aktionen aus und generiert den FSM Befehl 'goto\_standby' für die Kontrolleinheit 'Layer\_2'.
- Die untergeordneten Kontrolleinheiten wie 'HV\_System' erhalten den FSM Befehl 'goto\_standby'.
- Die Geräteeinheit PS1 setzt die Spannung der simulierten Hochspannungsversorgung auf einen aus den mitgelieferten Parametern extrahierten Wert.
- Die Geräteeinheit wechselt vom Zustand 'off' in den Zustand 'standby'.
- Die untergeordneten Kontrolleinheiten wechseln vom Zustand 'off' in den Zustand 'standby'.
- Die Kontrolleinheit 'Layer\_2' wechselt, unter Berücksichtigung der untergeordneten Zustände, vom Gesamtzustand 'off' in den Gesamtzustand 'standby'.

Ferner war mit dem DAQ Transition Befehl 'config' eine Zustandsänderung des Detektorkontrollsystems von 'standby' nach 'on' verbunden, welche ebenfalls erfolgreich durchgeführt wurde.

Es ist zu bemerken, dass es am „Combined Test Beam“ keine Instanz innerhalb des Detektorkontrollsystems gab und zur Zeit auch noch nicht gibt, die entscheidet, ob die gezeigte Reaktion der DCS Zustandsmaschine mit der erwarteten übereinstimmt. Daher war das Erstellen eines auf [40] basierenden Fehlercodes an dieser Stelle nicht möglich und es musste der Rückgabewert des 'Transition Befehls schon nach Abarbeitung des Kontrollskripts als 'erfolgreich ausgeführt' gesetzt werden, da sonst die Datennahme unnötig behindert worden wäre.

Diese Einschränkung ist aber für das Prinzip der Schnittstelle unwesentlich, da die Reaktionen auf unterschiedliche Rückgabewerte während der Teststrahl-Periode auf ihre Richtigkeit erfolgreich überprüft werden konnten.

Die Schnittstelle zwischen DDC und FSM wurde nun so konzipiert, dass alle FSM Aktionen und FSM Befehle auch einzeln durch entsprechende Non-Transition Befehle ausgeführt werden können. So war es am „Combined Test Beam“ zum Beispiel möglich, gezielt Elemente oder Zweige aus einem FSM Baum herauszunehmen und deren Zustand unabhängig vom Rest der Zustandsmaschine zu verändern. Diese Art der Kommunikation ist besonders im späteren Experiment sehr wichtig, um auf der Ebene des Pixeldetektors einzelne Elemente der Fehleranalyse oder Neukonfiguration zu unterziehen oder aber sogar ganz auszuschalten, ohne dabei den laufenden Betrieb von ATLAS zu unterbrechen. Dies trifft auch in hohem Maße auf eine geografische Zustandsmaschine zu, bei der die geografischen Kontrolleinheiten gemäß Abbildung 4.1, Seite 67, zu definieren sind.

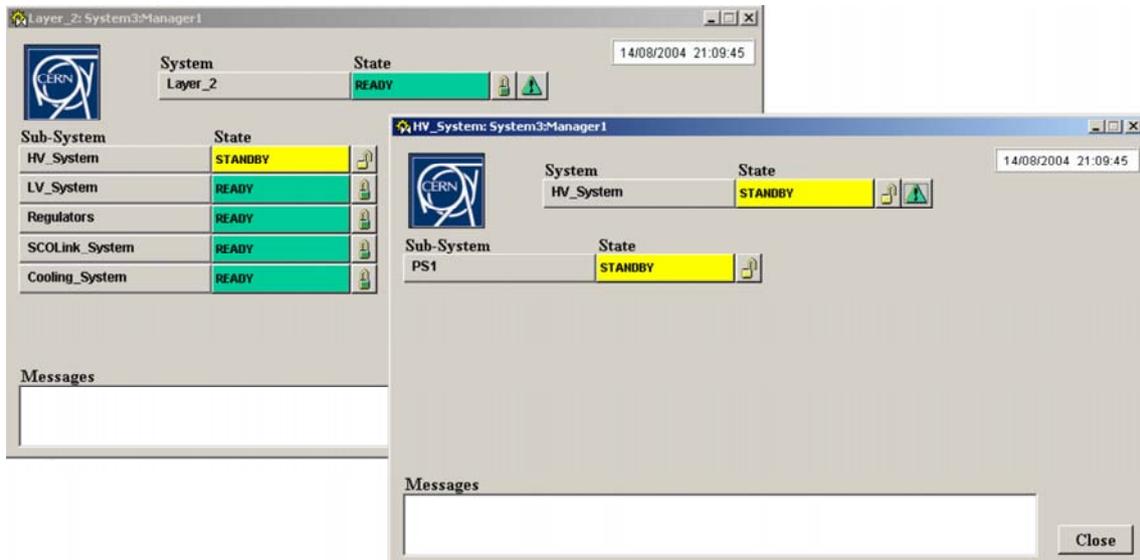


ABBILDUNG 5.10: Grafische Benutzeroberfläche der DCS Zustandsmaschine am „Combined Test Beam“

Abbildung 5.10 zeigt die grafische Benutzeroberfläche der am „Combined Test Beam“ benutzten DCS Zustandsmaschine. Zu sehen ist das bereits als Beispiel angesprochene Herausnehmen des FSM Zweigs 'HV\_System'. Dieses Element ist hier völlig unabhängig vom Rest der FSM. Dass es zur Zustandsbildung der übergeordneten Kontrolleinheit 'Layer\_2' nicht mehr beiträgt, zeigen die unterschiedlichen Zustände.

Getestet wurden die verschiedenen Möglichkeiten, die eine DCS Zustandsmaschine zu dem damaligen Zeitpunkt bot, um auf ein Element wirken zu können.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der bisher definierte Prototyp einer Schnittstelle zwischen DDC und FSM zuverlässig arbeitete und sich unter experimentellen Bedingungen bewährt hat.

Die Schnittstelle ist Bestandteil des PVSS II Projekts für DDC und steht bei der geplanten Integration einer Zustandsmaschine in das Detektorkontrollsystem des Pixeldetektors zur Verfügung. Die Funktionalität sollte dabei parallel mit der Entwicklung der DCS Zustandsmaschine erweitert werden, da die Benutzung einzelner FSM Aktionen via NonTransition Befehlen eine genaue Kenntnis der erlaubten Arbeitsabläufe innerhalb einer DCS Zustandsmaschine voraussetzt. Daher müssen sich die Schnittstelle und die Wirkung von NonTransition Befehlen in Zukunft stark an der Entwicklung der DCS Zustandsmaschine orientieren.

### 5.3.4 Messung der Übergangszeiten

Bei einer Startprozedur eines neuen Runs, im Besonderen bei dessen Initialisierung werden im späteren Experiment Konfigurations- und Kalibrationsdaten aus dem Datenbankverbund in den Detektoraufbau eingelesen. Die Übertragungsgeschwindigkeit und damit die Dauer des Startvorganges ist abhängig von der Datenmenge und der Anzahl der teilnehmenden Clients der Datenbanken. Eine erste vorsichtige Abschätzung in [41] ergibt eine Datenmenge von etwa 200 bis 500 MB bei 100 Clients für das ATLAS Experiment. Das Ziel für das spätere Experiment ist eine Größenordnung von etwa 10 Sekunden Dauer für den kompletten Datentransfer. Welche Aktionen der Subdetektoren zu welchen Übergängen der DAQ Zustandsmaschine 'Run Control' ausgeführt werden sollen und in welchem zeitlichen Rahmen das liegt, ist dagegen noch unbekannt. So benötigt zwar die Anforderung einer Infrastruktur von 1 000 Prozessoren zur Ausführung eines Übergangs nur einige Sekunden, aber eine zugehörige Zustandsänderung eines Subdetektors wird länger dauern. Allerdings ist Konsens, dass alle teilnehmenden Prozesse sehr in der Zeit optimiert sein müssen.

Speziell für das Detektorkontrollsystem bedeutet die Startprozedur eines Runs natürlich auch entsprechende Reaktionen auf die Zustandsänderungen der DAQ. Es wird, wie am Beispiel des Rücksetzens des Optoboards ersichtlich, der 'Transition-Befehl' innerhalb von DCS abgearbeitet und, wenn gewünscht, die entsprechende Frontend-Elektronik gesetzt. Während dieser Zeit wartet die DAQ Zustandsmaschine 'Run Control' auf eine Rückmeldung von DCS über den Ausführungszustand des Transition-Befehls. Erst wenn dieser erfolgreich durchgeführt worden ist, kann der nächste DAQ Zustand erreicht werden. Somit trägt auch das Detektorkontrollsystem über die Schnittstelle DDC zur gesamten Übergangszeit bei.

Um eine Abschätzung für die dafür von DCS benötigte Zeit zu erhalten, wurde in der letzten Phase des „Combined Test Beams“ im Rahmen dieser Arbeit eine Messung der Dauer der einzelnen Übergänge durchgeführt. In Bezug auf ein Detektorkontrollsystem setzt sich diese Dauer eines Übergangs zusammen aus:

- der Übertragungszeit des Transition-Befehls von der DAQ-Zustandsmaschine 'Run Control' an das Detektorkontrollsystem via DDC Komponente.
- der Verarbeitungszeit dieses Befehls in der DCS-Software.
- der Übertragungszeit der Rückmeldung von dem Detektorkontrollsystem an die DAQ-Zustandsmaschine 'Run Control' via DDC Komponente.

Innerhalb von PVSS II wird die Dauer wiederum durch die Ausführung von Kontrollskripten dominiert. Die reine Dauer eines Übergangs, also ohne eine Reaktion des Detektorkontrollsystems, betrug 10 – 30 ms. Bei einer bestehenden Verbindung

und einem „leeren“ Kontrollskript<sup>10)</sup> dagegen schon etwa 100 ms. Füllt man diesen notwendigen Minimalcode mit den gewünschten DCS Aktionen, so wird letztendlich die Gesamtzeit durch die Ausführung des zugehörigen Codes innerhalb von PVSS II bestimmt.

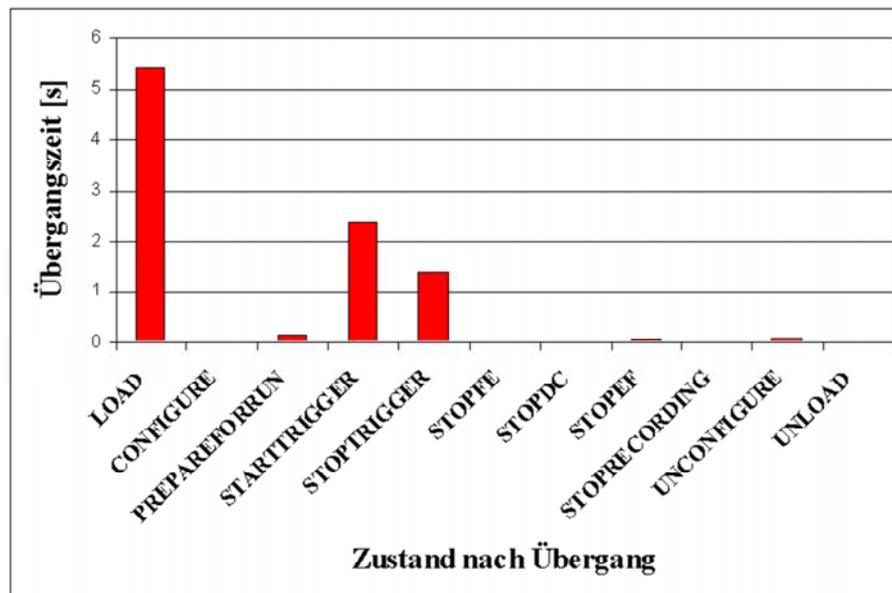


ABBILDUNG 5.11: Typische Zeiten für die unterschiedlichen Zustandsänderungen für einen Run

Aus dem Diagramm 5.11 ist ersichtlich, dass während des „Combined Test Beams“ die drei Zustandsänderungen 'load', 'starttrigger' und 'stoptrigger' mit Aktionen im Pixel Detektorkontrollsystem verknüpft wurden:

- Der Übergang '**load**' löste als DCS Aktion das Zurücksetzen des verwendeten Optoboards aus (siehe Abschnitt 5.3.2). Die gesamte Übergangszeit betrug im Mittel 5,5 s. Hierbei wurde durch softwareseitiges Setzen eines Eintrags im OPC Server ein digitaler Port der zugehörigen ELMB gesetzt und damit ein Zurücksetzen des Optoboards ausgelöst. Ob das nach etwa 10 ms erforderliche Rücknehmen des Reset-Signals erfolgreich war, konnte erst nach einem regulären Auffrischen der ELMB Daten im OPC Server vom ausführenden Kontrollskript gelesen werden. Diese Auffrischrate lag standardmäßig bei 5 s und dominierte damit die gemessene Dauer für den Übergang 'load'. Durch mittlerweile abgeschlossene Optimierungsprozesse innerhalb des Detektorkontrollsystems ließ sich die Zeit auf etwa 600 ms deutlich reduzieren.

<sup>10)</sup>Das Kontrollskript beinhaltet selbstdefinierte Funktionen, um das für diesen Transfer-typ/Transfer nötige Setzen von Datenpunktelementen durchzuführen.

- Der Übergang '**starttrigger**' war mit dem Aufbau einer Verbindung zur Conditions-Datenbank verknüpft. Hierbei musste zunächst die Datenpunktstruktur der zu speichernden Daten mit den Tabellen der Datenbank verglichen werden. Die meiste Zeit benötigte das notwendige interne Umkopieren der gewünschten Daten. Dies hatte die Ausführung weiterer Kontrollskripte und das Setzen von Synchronisations-Verzögerungen von etwa 2 s zur Folge, womit sich die Gesamtzeit auf etwa 2,5 s summierte (vergleiche Kapitel 6).
- Der Übergang '**stoptrigger**' meldete die zuvor aufgebaute Verbindung zur Conditions-Datenbank ab. Zuvor wurde ein letzter Datensatz gespeichert. Die damit verbundene Ausführung von weiteren Kontrollskripten innerhalb der Detektorkontrolle mit einer Dauer von etwa 1 s ergaben eine Gesamtzeit für diese Zustandsänderung von etwa 1,5 s.

Betrachtet man insgesamt die Zeiten für die am „Combined Test Beam“ möglichen Aktionen des Detektorkontrollsystems, liegen diese zunächst unter den Abschätzungen aus [41]. Der insgesamt geringen Anzahl von 10 Messreihen<sup>11)</sup> stand aber eine gute Reproduzierbarkeit der Werte gegenüber.

Es bleibt zu bemerken, dass mit der Vergrößerung des Aufbaus, wie er zur Zeit mit dem Systemtest am CERN, der 10 % des Pixeldetektors parallel betreiben soll, geschieht, auch eine bestimmte DCS Aktion auf entsprechend mehr Frontend-Elektronik oder interne Daten wirken muss. So werden zum Beispiel im späteren Experiment bei einer Initialisierung eines Runs nicht mehr ein Optoboard sondern im maximalen Fall 272 Optoboards zurückgesetzt. Je nach Wahl der Abarbeitung der gewollten DCS Aktion innerhalb von PVSS II ergibt sich eine andere Verarbeitungszeit.

Abarbeitung	Umsetzung	Gesamtzeit
Schleife	erneuter Aufruf der Funktion für Optoboard (n + 1) nach Setzen des n-ten Optoboards	$272 \cdot 600 \text{ ms} \approx \mathbf{160s}$
parallel	Auslösen von 272 identischen Kontrollskripten, Verzögerung 1. bis 272. Aufruf $\approx 40 \text{ ms}$	$600 \text{ ms} + 40 \text{ ms} \approx \mathbf{1s}$

TABELLE 5.2: Abschätzung der Abarbeitungszeit am Beispiel der DCS Aktion 'Rücksetzen des Optoboards'

Tabelle 5.2 zeigt dazu ein vereinfachtes Rechenbeispiel für die DCS Aktion 'Rücksetzen des Optoboards' und verdeutlicht damit, dass es bei einer Erweiterung des

<sup>11)</sup>Der für die Messung wichtige Variablentyp 'time' war in der damals aktuellen Version der Schnittstelle DDC nicht vorgesehen. Er wurde erst auf Anforderung des Autors integriert und stand nur noch für die letzten 10 Runs zur Verfügung.

Detektorkontrollsystemen zu einer erheblichen Differenz in den entsprechenden Verarbeitungszeiten kommen kann.

Daraus folgt, dass die permanente Messung der Übergangsdauer ein wichtiger Parameter bei der optimalen Erstellung von Kontrollskripten ist und aufgrund der fehlenden Erfahrung mit großen Systemen unbedingt zu empfehlen ist. Daher sind im Rahmen dieser Arbeit alle dafür notwendigen Einstellungen in das PVSS II Projekt integriert worden.

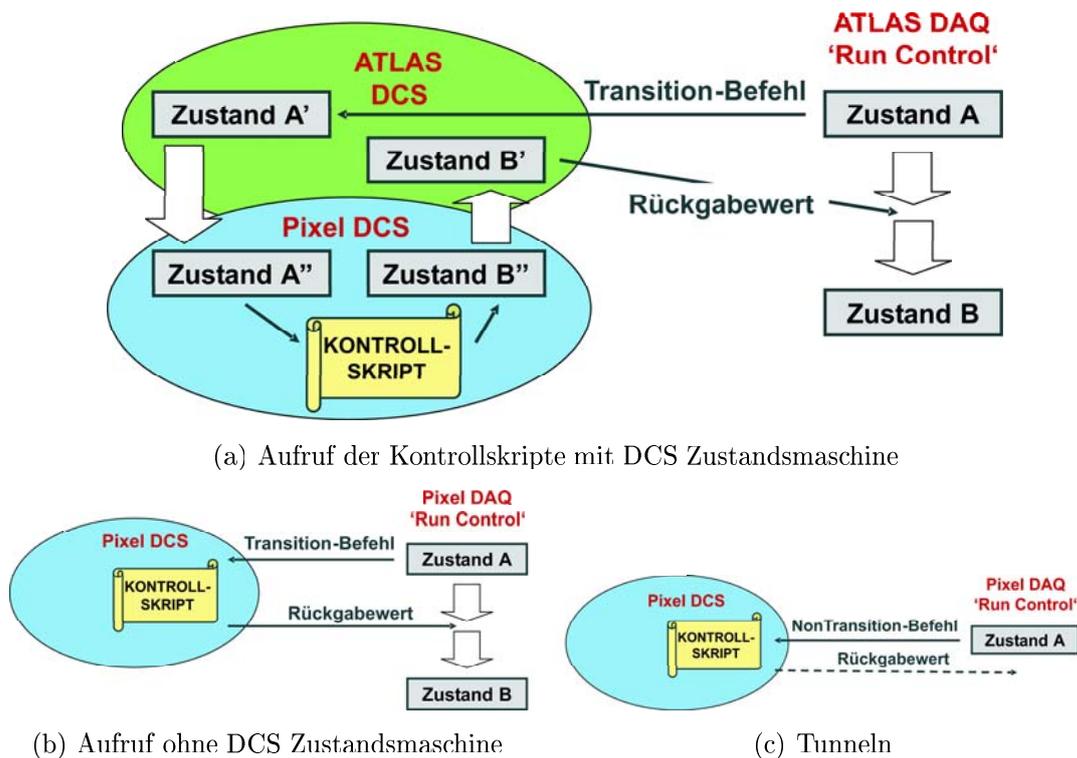


ABBILDUNG 5.12: Abhandlung einer DAQ Zustandsänderung innerhalb von DCS

Die am „Combined Test Beam“ zum Einsatz gekommenen Kontrollskripte für DCS-Aktionen sowie die zur Zeit in den Systemtestaufbauten vorhandenen Skripte, sollen in Zukunft mit der Einführung einer ATLAS weiten DCS Zustandsmaschine nicht mehr via der Schnittstelle DDC auf Pixelebene mit der DAQ Zustandsmaschine 'Run Control' verbunden werden. Eine Verknüpfung geschieht dann auf oberster DCS-Ebene mit einer ATLAS spezifischen Schnittstelle. Damit wird deren Ausführung indirekt aus der DCS Zustandsmaschine (Abbildung 5.12(a)) und nicht, wie bisher, auf direktem Wege (Abbildung 5.12(b)) heraus angesteuert. In Bezug auf Abbildung 5.12(a) sei darauf hingewiesen, dass es durch fehlende Erfahrungen im Umgang mit einer DCS Zustandsmaschine, im Besonderen mit der Dauer von Statusabfragen, der Verarbeitung von Fallunterscheidungen und interner Prozessierung, der Gruppe zur Zeit keine Abschätzungen dieser Zeiten vorliegen.

Es ist aber offensichtlich, dass sich die Abarbeitungszeiten zusätzlich erhöhen werden. Auch hier kann eine Zeitmessung helfen, während der Entwicklungsphase Arbeitsvorgänge zu optimieren. Eine zusätzliche und sehr wichtige Verwendung dieser Kontrollskripte findet sich in der Benutzung von 'NonTransition-Befehlen'. Abbildung 5.12(c) zeigt das 'Tunneln' der Zustandsmaschinen, wobei sich gemäß Definition des NonTransition-Befehls der Zustand der DAQ Zustandsmaschine 'Run Control' nicht ändern darf. Hierbei können Zeitmessungen als Kriterium dafür dienen, den Zeitpunkt zu bestimmen, wann eine zeitkritische, pixelspezifische DAQ Applikation über einen NonTransition-Befehl DCS Aktionen initiieren muss.

### 5.3.5 Benutzeroberflächen

Die meisten Kommunikationsprozesse sind für den Benutzer nicht sichtbar, da sie im Hintergrund laufen und in der Regel keinen Zugriff von außen benötigen. So wird die Konfiguration der pixelspezifischen Schnittstelle DDC in der finalen Version sich nur in wenigen Einstellungen von der jetzigen unterscheiden.

Trotzdem musste es für den Aufbau am „Combined Test Beam“ und auch später für die Systemtestaufbauten eine möglichst änderbare Integration der vor Ort verwendeten Hardware in die Kommunikation geben. Dies ist vor allem wichtig, wenn Hardware, die in den Kommunikationsprozess zwischen DAQ und DCS eingebunden ist, ausgetauscht wird oder sich die Anzahl der Detektormodule ändert. Da die Stromversorgung des Optoboards, der SC-OLink, sowie die Hochspannungsversorgung mit Hilfe des Frontend Integration Tools (FIT) in das Detektorkontrollsystem eingebracht worden waren, konnte dabei auf die vorhandene Datenpunktstruktur zugegriffen werden. So ließ sich aus dem verwendeten SC-OLink Crate der verwendete Kanal (SC-OLink) als Defaultwert setzen. Damit konnte, wie weiter unten näher erläutert wird, ein verallgemeinerter NonTransition-Befehl definiert werden. Ferner konnte mittels Auswahl der Hochspannungsversorgung diese in den Kommunikationsprozess eingebunden werden.

Abbildung 5.13 zeigt die am Teststrahl dafür eingesetzte grafische Benutzeroberfläche. Ferner ist eine Protokollierung aller Meldungen integriert, die bei der Benutzung der pixelspezifischen Schnittstelle DDC auftreten.

### Data-Transfer

Bezüglich des Datentransfers vom DAQ System in das Detektorkontrollsystem wurden die Parameter der DAQ Services überwacht, und hier im Besonderen die der drei Komponenten der pixelspezifischen Schnittstelle DDC. Eine experimentelle Anwendung war auch die Messung der Übergangszeiten. Eine weitere wichtige Größe war die Runnummer. Wie Kapitel 6 zeigen wird, erlaubte dieser Datentransfer die Korrelation der gespeicherten Daten mit einem Run.

Für den Austausch von Daten von der Detektorkontrolle in das DAQ System wurden sämtliche Parameter der Detektormodule gewählt. Somit standen diese dem Benutzer an einem Ort außerhalb des Kontrollsystems vollständig zur Verfügung und konnten in dessen Entscheidungsprozesse mit einfließen.

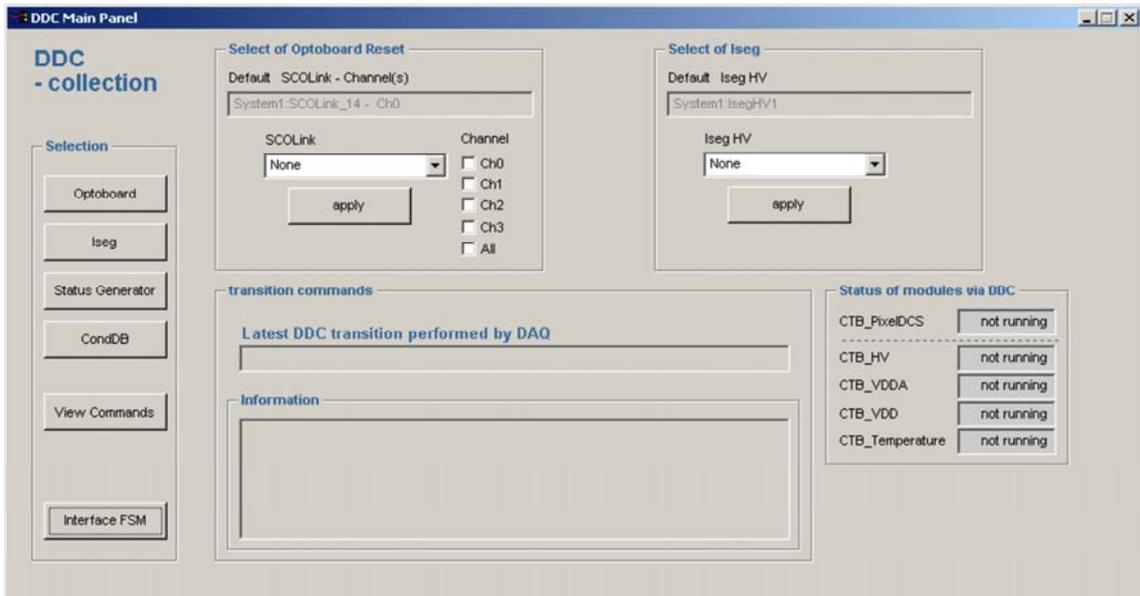


ABBILDUNG 5.13: Grafische Benutzeroberfläche für die pixelspezifische Schnittstelle DDC

Name	Type	Modified	D
RunParams_S1_M1A_Data_Name	Unknown	12/2/05 22:04:08	
RunParams_C1_M1A_Data_Temperature	Unknown	12/2/05 22:04:00	

Value	Type	Name	Description
4/2/05 10:00:33	time		
free Slot	string		

ABBILDUNG 5.14: Unterschiedliche Zeitstempel

Zu bemerken ist, dass der von PVSS II gesetzte Zeitstempel einer Variablen nicht mit dem Zeitpunkt des Auffrischens innerhalb des Information Services übereinstimmen muss (vergleiche Abbildung 5.14). Dies tritt speziell ein, wenn nach einem Neuaufbau der Kommunikation zwischen den Systemen (zum Beispiel nach Kalibration des DAQ) bei der Anmeldung die Werte erstmalig gelesen werden und der Zeitpunkt eines Wertewechsels in der Vergangenheit liegt. Eine Alternative wäre das komplette

Auffrischen aller an der Kommunikation teilnehmenden Variablen. Da aber zur Zeit noch unklar ist, welche Daten tatsächlich von Pixel DAQ benötigt werden, ist eine Abschätzung hier nicht sinnvoll.

Die spezielle Anforderung von Pixel DCS Daten wurde nur mittels einer DAQ Applikation zu Testzwecken einmalig durchgeführt. Das war höchst effektiv und funktionierte problemlos. Weitere Untersuchungen konnten mangels pixelspezifischer DAQ Applikationen nicht gemacht werden.

### **Command-Transfer**

Neben den bereits in Abschnitt 5.3.4 vorgestellten drei Transition-Befehlen und ihrer Auswirkungen auf das Detektorkontrollsystem standen für die 15 weiteren Transition-Befehle Kontrollskripte zur Verfügung. Diese waren bis auf die zur Kommunikation nötigen Schritte mit keinen DCS Aktionen verbunden und können daher als Vorlage für weitere Entwicklungen dienen. Ziel war es nachzuweisen, dass das Detektorkontrollsystem auf alle möglichen Übergänge der DAQ Zustandsmaschine reagieren kann.

Ist ein Transition-Befehl zusammen mit seinem Satz von Parametern einmal in der Konfigurations-Datenbank festgelegt, ist es nur durch Neudefinition des Parametersatzes möglich auf Änderungen im System zu reagieren. Anders ist dies mit einem NonTransition-Befehl. Er definiert durch die Beigabe unterschiedlicher Parameter verschiedene Reaktionen im Detektorkontrollsystem. Als Beispiel sei der Befehl für das Zurücksetzen des Optoboards genannt. Vom Transition-Befehl erhielt die entsprechende DCS Aktion als Parameter den verwendeten SC-OLink, um mittels Kontrollskript auf dieser Komponente das gewünschte Reset-Signal auszulösen. Änderte sich jetzt zum Beispiel der Ort des SC-OLink im Crate, so musste der Parameter in der Konfigurations-Datenbank umgeschrieben werden. Bei Verwendung eines NonTransition-Befehl ließ sich direkt der benötigte SC-OLink als Parameter angeben. Übergab man keinen Parameter, so wurde der über die Benutzeroberfläche (Abbildung 5.13) ausgewählte Default SC-Olink verwendet. Es ist ersichtlich, dass zwar beide Befehle die gleichen Reaktionen im Detektorkontrollsystem zeigen, ihr Aufruf aber unterschiedlich ist. Daher wurden innerhalb des vorliegenden PVSS II Projektes alle möglichen DCS Aktionen als Elemente einer Bibliothek geschrieben, um diese möglichst vielen Befehlen zur Verfügung zu stellen.

### **Message-Transfer**

Aus der Tatsache heraus, dass am Teststrahl im zweiten Messaufbau für den Pixeldetektor (Stand-alone) die Hochspannungsversorgung unbemerkt vom Schichtpersonal mehrere Stunden ausfiel, fand sich in einer notwendigen Statusinformation eine experimentelle Anwendung des Message-Transfers für den Aufbau am „Combined Test Beam“. Durch die Auswahlmöglichkeit in der Benutzeroberfläche ließ

sich das aktuelle Hochspannungsmodul aussuchen. Basierend auf der vom Frontend Integration Tool (FIT) geschaffene Datenpunktstruktur wurde mit der PVSS II eigenen Meldebehandlung diese Versorgung auf ihren Zustand überwacht. Trat ein Fehler zum Beispiel durch Komplettausfall auf, so wurde eine Meldung an das DAQ System gesendet<sup>12)</sup>. Dabei konnte vom gewollten Ausschalten unterschieden werden.

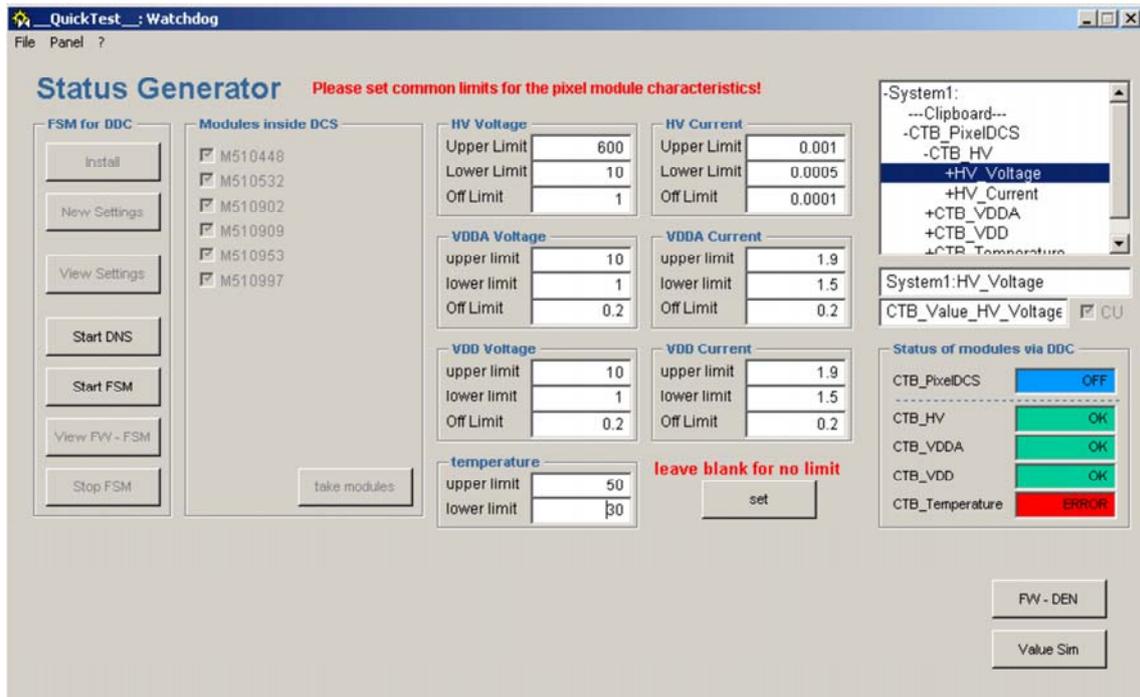


ABBILDUNG 5.15: Grafische Benutzeroberfläche zur Konfiguration einer DCS Zustandsmaschine

Da es keine pixelspezifische DAQ Applikation gab, welche die aus dem Datentransfer stammenden Parameter der Detektormodule übersichtlich darstellen konnte, wurde nach einer Möglichkeit gesucht, aus den Parametern einen Gesamtstatus zu bilden und diesen zu überwachen. Hierbei bot sich das Detektorkontrollsystem als Ausgangsort dieser Daten an. So wurden als Betriebsparameter eines Detektormoduls die Ströme, Spannungen und die Temperatur in die Überwachung aufgenommen. Zu dem Zweck musste zunächst eine weitere Zustandsmaschine für das Detektorkontrollsystem entwickelt werden, die in Abhängigkeit von den Kenngrößen der Detektormodule, also Strömen, Spannungen und Temperatur, Zustände generieren konnte. Der normale Arbeitsbereich einer Größe wurde als breites Gültigkeitsintervall mit dem Zustand 'ok' definiert. Ein Unterschreiten dieses Bereiches ergab den Zustand 'not running', ein Überschreiten den Zustand 'error'. Es war hierbei sehr wichtig,

<sup>12)</sup>Weitere DCS Aktionen sollten auf Bitten der Pixel DAQ Gruppe nicht stattfinden.

dass diese Grenzen vom Benutzer nachträglich änderbar waren. Das erforderte eine weitgehende Automation bei der Konfiguration der Zustandsmaschine, die in der Form erstmalig im Rahmen dieser Arbeit entwickelt werden musste. Jede Zustandsänderung wurde dann mit einer entsprechenden Statusmeldung an das DAQ System verbunden. Abbildung 5.15 zeigt die zugehörige Benutzeroberfläche. Im rechten Teil der Abbildung ist der Gesamtstatus bezüglich der Kenngrößen gezeigt. Ferner sind die Einstellmöglichkeiten bezüglich der Module und deren Grenzen zu sehen.

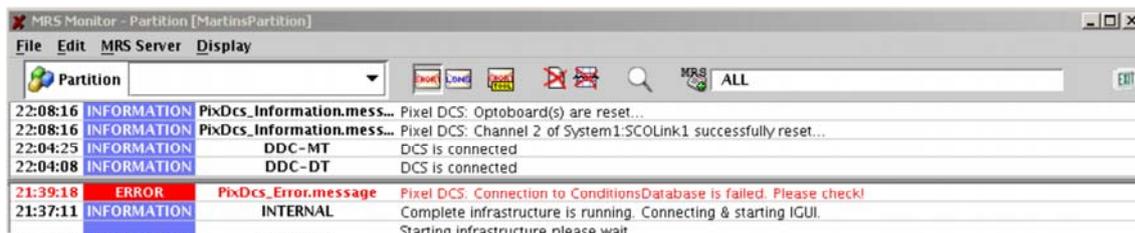


ABBILDUNG 5.16: Zwei Auszüge von DCS Meldungen im Message Reporting Service

Das Generieren von Meldungen in Kombination mit der bereits vorgestellten Übertragung aller Parameter bezüglich eines Detektormoduls konnte bei Auftreten eines Fehlers die Suche nach der Ursache enorm vereinfachen.

Beispiele für weitere im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Meldungen zeigt Abbildung 5.16. So erhielt der DAQ Anwender mit der ersten Nachricht die Mitteilung, dass das Optoboard erfolgreich zurückgesetzt werden konnte. Die zweite Meldung gab Hinweis auf einen Verbindungsausfall des Detektorkontrollsystems zur Conditions-Datenbank.

### Not\_Ready\_for\_DAQ

Mit der Benutzeroberfläche aus Abbildung 5.13 gab es die Möglichkeit, die Marke 'Not\_Ready\_for\_DAQ' per Hand setzen zu können. In einer Phase der Strahlperiode konnte damit ein fehlerhaftes Pixel Detektorkontrollsystem für das DAQ System simuliert werden.

Während der Initialisierungsphase eines Runs konnte gezeigt werden, dass durch Aktivieren des Signals, die DAQ Zustandsmaschine 'Run Control', zuständig für alle Subdetektoren, den Zustand 'ready' nicht erreichen konnte.

Ein Auslösen der Marke während eines Runs zwang den Controller der DDC Schnittstelle in den Zustand 'error'. Dadurch wurde der Run gestoppt, da die DAQ Zustandsmaschine so definiert war, dass sie den Zustand 'error' annahm, sobald ein untergeordneter Controller einen Zustand 'error' bekannt gab.

Um aber die physikalische Datennahme und Untersuchungen am 'Combined Test

Beam' der anderen Subdetektoren nicht zu behindern, wurde auf Tests mit dieser Marke im Weiteren verzichtet.

### 5.3.6 Testsystem

Wie bereits in Abschnitt 5.3.5 angedeutet, sind die meisten Kommunikationsprozesse für den Benutzer nicht sichtbar. Um aber alle bereitgestellten Möglichkeiten der Schnittstelle DDC vom Prinzip her auf ihre volle Funktionalität überprüfen zu können, sind dafür zusätzlich Datenpunktstrukturen, Kontrollskripte und grafische Benutzeroberflächen in das bestehende PVSS II Projekt integriert worden.

Abbildung 5.17 zeigt die grafische Hauptbenutzeroberfläche. Zu sehen sind passive und aktive Elemente für den Test der einzelnen drei DDC Komponenten.

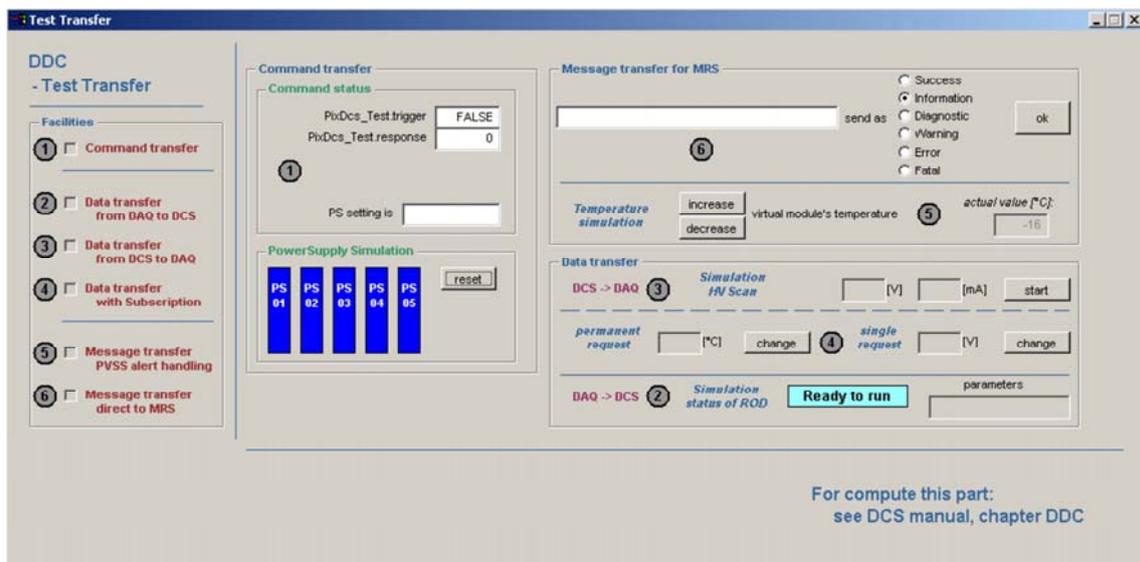


ABBILDUNG 5.17: Grafische Benutzeroberfläche zum Testen der Schnittstelle DDC

Zusammen mit entsprechenden DAQ Applikationen, die unabhängig von der DAQ Zustandsmaschine 'Run Control' auszuführen sind, ist es möglich, folgende Aktionen auszuführen:

- Data-Transfer
  - Auf der DAQ Seite wird der Zustand (standby, ready oder error) eines RODs simuliert und im Detektorkontrollsystem zur Anzeige gesetzt.
  - Auf der DAQ Seite wird ein Array mit beliebigen Einträgen generiert und DCS für die Weiterverarbeitung zur Verfügung gestellt.

- Auf der DCS Seite wird eine Strom-Spannungsmessung der Hochspannung simuliert und der physikalischen Datennahme zum Abruf bereitgestellt.
- Für die DAQ Seite können zusätzliche DCS Daten angefordert werden. Hierbei wird unterschieden zwischen einer einmaligen und einer permanenten Anfrage. Beide Daten können über die Benutzeroberfläche aufgefrischt werden; im Fall der permanenten Anfrage soll sich der Wert auf DAQ Seite ändern, im Fall der einmaligen darf er sich nicht ändern.
- Command-Transfer
  - Von der DAQ Seite wird ein NonTransition-Befehl ausgeführt, wodurch über Wahl der mitgebenden Parameter eine bestimmte Anzahl von Spannungsversorgungen angeschaltet werden können. Diese Spannungsversorgungen basieren auf der vom Frontend Integration Tool (FIT) für die Hochspannung (vergleiche 3.3.3) eingebrachte Datenpunktstruktur, hatten aber aus Sicherheitsgründen keine Verbindung zu existierender Hardware, da diese hierfür nur simuliert wurde.
- Message-Transfer
  - Basierend auf der PVSS II eigenen Fehlerbehandlung wird ein Temperaturanstieg eines Detektormoduls simuliert. Dabei werden in Abhängigkeit von der Temperatur zuvor definierte Fehlermeldungen an die physikalische Datennahme geschickt.
  - Zusätzlich lassen sich benutzerdefinierte Meldungen mit Gewichtung aus DCS versenden.

Durch die Unabhängigkeit von der DAQ Zustandsmaschine 'Run Control' ist es möglich, diesen Teil des PVSS II Projektes DDC jederzeit ausführen zu können. Durch die gemachte Erfahrung, dass mit Hilfe dieses Testsystems viele Fehler gerade in der Anfangsphase des 'Combined Test Beams' schnell und effektiv gelöst werden konnten, sollte es als fester Bestandteil in den Aufbau des späteren Experiments mit eingehen.

### 5.3.7 Bezeichnungskonvention

Mit 'PixLib' wird ein Verbund aus C++ Klassen bezeichnet. Die Sammlung dient als Schnittstelle zwischen den Readout Drivern (RODs) des Pixeldetektors und den Applikationen, die für die Konfiguration und den Betrieb der RODs und der dort angeschlossenen Detektormodule zuständig sind. Da PixLib in die ATLAS Online Software integriert ist, ist geplant unter anderem einen zusätzlichen Pfad zu einem Detektorkontrollsystem zu integrieren. Diese Schnittstelle wird die Funktionalität

der Schnittstelle DDC benutzen. Damit ist es möglich, alle drei DDC Komponenten anzuwenden und so den vollen Zugriff auf das Pixel Detektorkontrollsystem zu haben.

Innerhalb von PixLib werden die Detektormodule durch die letzten sechs Ziffern zusammen mit einem vorangestellten 'M' bezeichnet, zum Beispiel M510448. Diese Bezeichnung steht aber im Widerspruch zum geografischen Ansatz des Detektorkontrollsystems und der damit vordefinierten Datenpunktstruktur. Daher ist für eine fehlerfreie Kommunikation zwischen DAQ und DCS, spätestens mit der Integration der DCS Schnittstelle in PixLib, eine gemeinsame Namenskonvention notwendig.

Zum „Combined Test Beam“ stand das neue Software Intergration Tool ('SIT Detector') noch nicht zur Verfügung, so dass zunächst für die DDC Komponente 'Datatransfer' die vorhandene Datenpunktstruktur als Bezeichnungsgrundlage gewählt wurde:

*Log\_BookXX.YY.ZZ*  
z.B. Log\_Book01.HV.Imeas,

wobei XX die Modulnummer, YY die Variable und ZZ der zu messende Parameter bedeutet.

Diese Namenskonvention ließe sich zwar im späteren Experiment auf eine beliebige Anzahl von Modulen erweitern. Sie gibt aber keinen Hinweis auf die geografische Lage der Module im Detektor oder auch im Detektorkontrollsystem.

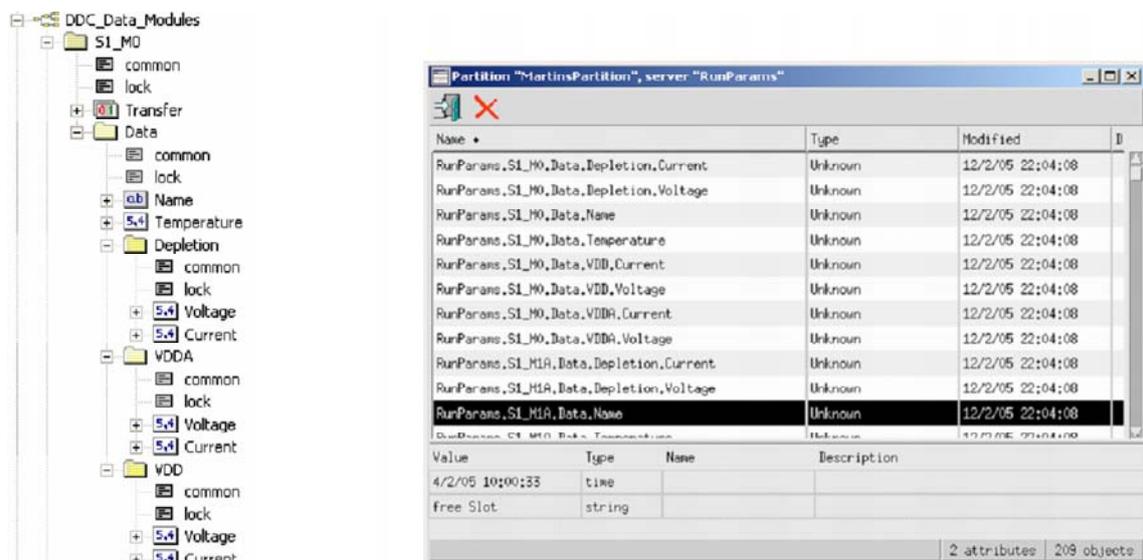


ABBILDUNG 5.18: Zusammenhang Datenpunktstruktur und entsprechende Einträge in der Online Software Umgebung

Basierend auf der geografischen Lage der Detektormodule wurde nach [42] eine neue Bezeichnung innerhalb des Detektorkontrollsystems gewählt und den Systemtestaufbauten zur Verfügung gestellt (siehe 5.18):

*Sp\_Mmm*

z.B. S1\_M2C.Data.Depletion.Current,

wobei p die Position des Staves auf dem Bistave und mmm die Position des Moduls auf dem Stave bedeutet.

Für ein Modul im Barrel Bereich des Detektors im späteren Experiment ist vorgeschlagen:

*Ll\_Bbb\_Sp\_sn\_Mmm*

z.B. L2\_B02\_S1\_C6\_M2C.Data.Depletion.Current,

wobei l die Layernummer, bb die Bistavenummer auf dem Layer, p die Position des Staves auf dem Bistave, s die Seite, n das Kabelbündel (6/7) und mm die Position des Moduls auf dem Stave bedeutet.

Ähnliches gilt für die Module des Disk-bereichs:

*Dds\_Sn\_Mmm*

z.B. D3A\_S4\_M3.Data.Depletion.Current,

wobei d die Positionsnummer, s die Seite, n der Sektor und m die Position des Moduls auf dem Sektor bedeutet.

Der Vorteil dieser Bezeichnungsweise liegt für das Detektorkontrollsystem sowie für die Schnittstelle PixLib in der Verwendung schnellerer Abfragemechanismen. In Bezug auf die Schnittstelle DDC sogar in einer übersichtlicheren und anschaulicheren Konfiguration.

Um diese Namenskonvention aber innerhalb der Schnittstelle PixLib umzusetzen, bedarf es dort trotz allem einer Zuordnung auf die in PixLib verwendete Bezeichnung. So müssen zum Beispiel die Einträge im Information Service über ihren Namen mit den Variablen der Detektormodule verknüpft werden (vergleiche Abbildung 5.18). Eine Entscheidung für die Umsetzung eines solchen Mappings ist noch nicht gefallen.

### 5.3.8 Information Service

Mit Vergrößerung des Systems wird sich die Datenmenge und damit die Anzahl der zu übertragenden Werte der entsprechenden Datenpunktelemente erhöhen. So gilt nach Abschnitt 5.2.1, dass für den Datenaustausch via Schnittstelle DDC jedes

Datenpunktelement im Information Service angemeldet werden muss. Dadurch kann es zu einer sehr hohen Datenmenge kommen, die regelmäßig aufgefrischt werden muss.

Basierend auf der zurzeit benutzten Datenpunktstruktur ergäbe sich bei insgesamt 1744 Detektormodulen und momentan 8 zu übertragenden Parametern eine mögliche Anzahl von insgesamt 15 552 Einträgen. Nach Messungen aus [43] beträgt die Zeit, um einen Eintrag im Information Service aufzufrischen, etwa 1 ms. Somit würde die Dauer eines einmaligen Auffrischens aller DCS Daten im Information Service mindestens 16 s dauern. Da die meisten DCS Daten von der Frontend Komponente ELMB gemessen werden und deren Auffrischrate 5 s beträgt, ist also mit Datenstau oder sogar Datenverlust zu rechnen.

Um diese Abschätzung auf ein Detektorkontrollsystem anwenden zu können, musste im Rahmen dieser Arbeit ein derartig hohes Datenaufkommen simuliert werden. Dafür wurde ein PVSS II Projekt und die Schnittstelle DDC so präpariert, dass es möglich war, eine beliebige Anzahl von Datenpunktelementen mit einem einzigen PVSS II Befehl gleichzeitig<sup>13)</sup> in ihrem Wert zu ändern und damit ein Auffrischen der angemeldeten Datenpunktelemente im Information Service zu initiieren. Gemessen wurde dann die Zeitdifferenz zwischen dem Setzen der ersten und dem Setzen der letzten Variablen im Information Service<sup>14)</sup>. Für jede Anzahl von Datenpunktelementen wurde diese Messung 10 mal wiederholt.

Anzahl Datenpunktelemente	typische Zeitdifferenz	errechnete Auffrischzeit
1 000	1 s	1,0 ms
2 000	3 s	1,5 ms
3 000	5 s	1,7 ms
4 000	8 s	1,5 ms
5 000	10 s	2,0 ms
6 000	13 s	2,2 ms
7 000	17 s	2,4 ms
8 000	21 s	2,6 ms
9 000	26 s	2,9 ms

TABELLE 5.3: Zusammenhang zwischen Anzahl der Datenpunktelemente und deren Auffrischzeit im Information Service

<sup>13)</sup>Die Zeit, die von PVSS II intern gebraucht wurde, um alle Datenpunktelemente (DPE) 'gleichzeitig' zu setzen, betrug 40 ms / 1 000 DPE. Aufgrund der im Vergleich großen Messwerte im Information Service, wurden diese Zeiten aber nicht weiter berücksichtigt.

<sup>14)</sup>Alle Zeitstempel werden aus der Systemzeit der Online Software generiert (Online Wide Library Time, OWLTime). Diese lässt als kleinste Einheit nur Sekunden zu. Die Messung der Zeit geschah mit der Online Software Komponente 'is\_monitor'.

Tabelle 5.3 zeigt die typische zeitliche Differenz zwischen dem Auffrischen des ersten und des letzten Eintrags im Information Service für eine unterschiedliche Anzahl von angemeldeten Datenpunktelementen. Ferner ist die aus beiden Werten errechnete Auffrischzeit pro Eintrag aufgeführt.

Zu sehen ist zunächst die erwartete Zunahme der Gesamtauffrischzeit mit der Anzahl der Datenpunktelemente, wobei die Zunahme nicht linear verläuft. Das lässt sich damit erklären, dass der Information Service während des Auffrischens weitere Daten ab einem gewissen Grenzwert in die Warteschleife stellen muss. Ab welchem Wert dies auftritt, hängt von der momentanen Last der CPU ab.

Ferner ist ersichtlich, dass im Extremfall von 9 000 Datenpunktelementen die Verzögerung des letzten Datenpunktelements etwa 26 s beträgt. Obwohl bisher die Erfahrung innerhalb der Detektorkontrolle mit größeren Systemen fehlt und damit auch eine genaue Abschätzung der Größe des Datenverkehrs, ist diese Zeit nicht akzeptabel.

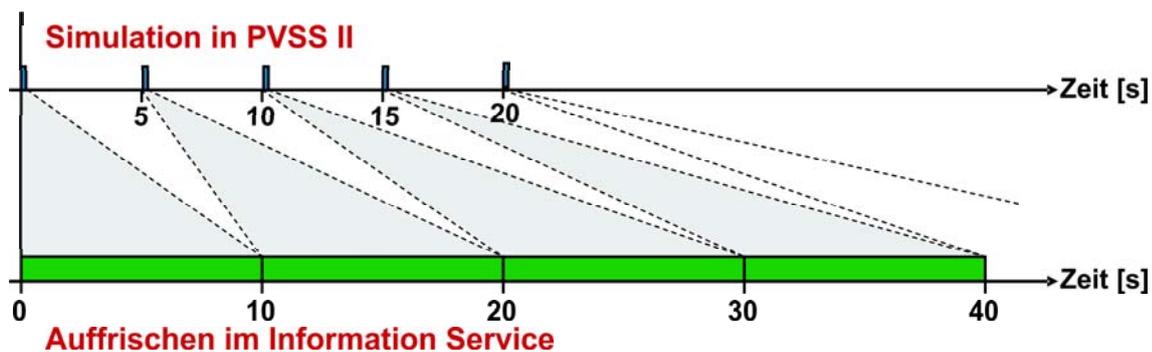


ABBILDUNG 5.19: Gesamtzeit für unterschiedlich viele Änderungen

Abbildung 5.19 zeigt exemplarisch eine weitere Messung innerhalb der durchgeführten Simulation. Dazu wurden 5 000 Datenpunktelemente, deren Auffrischvorgang laut Tabelle 5.3 im Information Service 10 s dauerte, alle 5 s in PVSS II gleichzeitig neu gesetzt. Gemessen wurde jeweils die Zeit des ersten Eintrags im Information Service, wenn dieser neu gesetzt wurde. Es zeigte sich, dass es zu weiteren erheblichen Verzögerungen kommen kann. So betrug der Unterschied nach dem fünften Auffrischen bereits 20 s.

Eine notwendige Verringerung der Datenmenge und damit einer Vermeidung von Verzögerungen lässt sich durch die Gruppierung von Daten erreichen. Fasst man alle Parameter bezüglich eines Detektormoduls innerhalb von PVSS II in einem Array zusammen und meldet dieses Array nun im Information Service an, so reduziert sich allein für die Detektormodule die Anzahl auf 1744 Einträge. Aus Tabelle 5.3 ist erkennbar, dass mit der maximalen Differenz von 3 s die durch die ELMB gesetzte Grenze von 5 s unterschritten wird.

Ein Nachteil dieser Gruppierung innerhalb von PVSS II ist aber, dass Arrays nur

Daten gleichen Typs beinhalten dürfen. Eine Abschätzung, wie groß der Aufwand einer Typkonversion innerhalb von PixLib ist, kann wegen noch fehlender Anbindung nicht gegeben werden.

Eine weitere Reduzierung lässt sich erreichen, indem man die Möglichkeit des dynamischen An- und Abmeldens von Datenpunkten im Information Service nutzt. Durch die Implementierung der DCS Schnittstelle in den Verbund PixLib, können Applikationen, die nur zeitweise bestimmte DCS Daten brauchen, gerade diese Eigenschaft verwenden.

Im späteren Experiment lässt sich, um die Last weiter zu reduzieren, ein eigener Information Service speziell für das Pixel Detektorkontrollsystem installieren. Eine Implementierung ist nach der Teststrahlperiode im Rahmen dieser Arbeit vorgenommen worden und konnte erstmalig im Wuppertaler Systemtestaufbau erfolgreich betrieben werden.

## 5.4 Zusammenfassung

Die hier durchgeführte Definition von *Transition-Befehlen* für das Pixel Detektorkontrollsystem erlaubte die für das spätere Experiment unverzichtbare Abstimmung der Zustandsmaschinen der Pixel Detektorkontrolle und des Datennahmesystems. Im Rahmen dieser Arbeit wurde dazu die nötige Implementierung einer DCS Zustandsmaschine (FSM) durchgeführt, wie auch eine zusätzliche Schnittstelle zwischen DDC und DCS FSM konzipiert. Diese neu geschaffene Schnittstelle übersetzt Transition-Befehle in benötigte FSM-Steuerbefehle. Untersuchungen unter experimentellen Bedingungen zeigten ein hohes Maß an Zuverlässigkeit.

Zusätzlich konnten verschiedene DCS-Aktionen mit eingehenden Transition-Befehlen verknüpft werden. So zeigte sich am Beispiel des Zurücksetzens des Optoboards oder auch am Beispiel des Verbindungsaufbaus zur Conditions-Datenbank, dass das Datennahmesystem die Hauptkontrolle über den Subdetektor übernehmen kann. Im Falle des Optoboards, welches im Experimentieraufbau nicht frei zugänglich war, leistete diese Arbeit durch die Verknüpfung für den Pixeldetektor einen großen Anteil am Gelingen der Datennahme am „Combined Test Beam“.

Darüber hinaus ergab sich durch Messung von Übergangszeiten der Transition-Befehle die Möglichkeit, Vorgänge im Detektorkontrollsystem zeitlich zu optimieren. Durch Setzen der Marke *'Not\_Ready\_for\_DAQ'* im Pixel Detektorkontrollsystem konnte die erwartete Reaktion des Datennahmesystems im ATLAS-Verbund nachgewiesen werden. Es zeigt sich, dass es zu keiner Datennahme physikalischer Ereignisse kommt, wenn der Detektor nicht dafür bereit ist.

*NonTransition-Befehle* konnten unter experimentellen Bedingungen ausgeführt werden. Dabei wurde von Seiten des Datennahmesystems auf Teile des DCS Zustandsautomaten Einfluss genommen, ohne dass es Auswirkungen auf den aktuellen Zustand

der beiden Zustandsmaschinen hatte. Es kamen NonTransition-Befehle zum Einsatz, die über DCS-Kontrollsequenzen gezielt auf DCS Hardware einwirken konnten.

Die *Bereitstellung von DCS Daten* für das Datennahmesystem wurde vorgestellt. Sämtliche Informationen zu einem Detektormodul, wie Spannungen, Ströme und die Temperatur, waren den Applikationen des Datennahmesystems zur Weiterverarbeitung zugänglich. Ferner konnten DCS Statusinformationen aus einer eigens dafür entwickelten Zustandsmaschine übermittelt werden.

Da die Schnittstelle DDC eine Komponente der Online Software ist, sind Informationen bezüglich dieser Schnittstelle nur im Datennahmesystem verfügbar. Daher wurde die Möglichkeit, *Daten aus dem Datennahmesystem* in das Detektorkontrollsystem zu transferieren, dazu benutzt, den Betriebszustand der Schnittstelle DDC vom Detektorkontrollsystem überwachen zu lassen.

Eine weitere wichtige Anwendung des Transfers war die erfolgreiche Verknüpfung der DCS Daten, die in der Conditions-Datenbank gespeichert werden sollten, mit der im Datennahmesystem generierten Runnummer. Auch diese ist nur über den Datenaustausch dem Detektorkontrollsystem zugänglich.

Untersuchungen zur ausgetauschten Datenmenge wurden genutzt, um die zu erwartenden Probleme bei der Erweiterung des Systemtest-Aufbaus am CERN bezüglich des Datentransfers aufzuzeigen. Als Lösungen sind eine veränderte Datenpunktstruktur wie auch ein zusätzlicher Information Service diskutiert und angeboten worden.

Die *Übermittlung von DCS Nachrichten* half dabei, den DAQ-Experten vor Ort über den aktuellen Zustand des Detektorkontrollsystems zu informieren und im Fall von Störungen eine schnelle Reaktion zu ermöglichen. Durch Protokollierung der DCS Nachrichten im TDAQ System war eine nachträgliche Fehlersuche und vor allem ein besseres Verständnis des Systems für den DCS-Experten erreicht.

Diese Arbeit stellte graphische Benutzeroberflächen zur Verfügung, die eine Bedienung und eine zusätzliche Konfiguration der Schnittstelle auf der DCS-Seite erlaubt. Weiterhin lässt sich die gesamte Kommunikation unter Zuhilfenahme von Anwenderschnittstellen in vollem Umfang testen.

Die Integration des Pixel Detektorkontrollsystems in die ATLAS-Umgebung am „Combined Test Beam“ verlief problemlos. Dadurch konnte gezeigt werden, dass das Pixel Detektorkontrollsystem als Teil des TDAQ Systems mit der hier definierten Konfiguration dem geforderten TDAQ Partitionsprinzip folgen kann.

Der Pixeldetektor war neben dem Teil-Myon-Spektrometer MDT der Subdetektor, der diese Schnittstelle am „Combined Test Beam“ gänzlich implementiert hatte. Erfahrungen aus der Teststrahl-Periode flossen direkt in die Weiterentwicklung der Schnittstelle ein.

Der Einsatz der Schnittstelle 'DAQ-DCS Communication (DDC)' am „Combined Test Beam“ hat sich bewährt. So konnte im Rahmen dieser Arbeit eine Konfiguration für den Pixeldetektor entwickelt und das vorhandene Pixel Detektorkontrollsystem

derart erweitert werden, dass sämtliche Anforderungen des Pixeldetektors bestens erfüllt werden konnten. Dieses ausgearbeitete Paket für die Kommunikation zwischen dem Pixel Detektorkontrollsystem und dem Datennahmesystem ist für den späteren Einsatz im Experiment dringend zu empfehlen.

## 5.5 Ausblick

### Back of Crate Karte

Die Entwicklungen innerhalb des Systemtests am CERN werden weitere Anwendungen und Neuerungen in dem Verbund 'PixLib' mit sich bringen. Durch die Schaffung von pixelspezifischen DAQ Applikationen und unter Anwendung der Schnittstelle DDC wird es möglich sein, die Parameter des BOC-internen Monitoring in das Detektorkontrollsystem zu integrieren. Ferner wird zur Zeit diskutiert, wie man unter Zuhilfenahme von DCS Kenngrößen automatisiert optimieren kann.

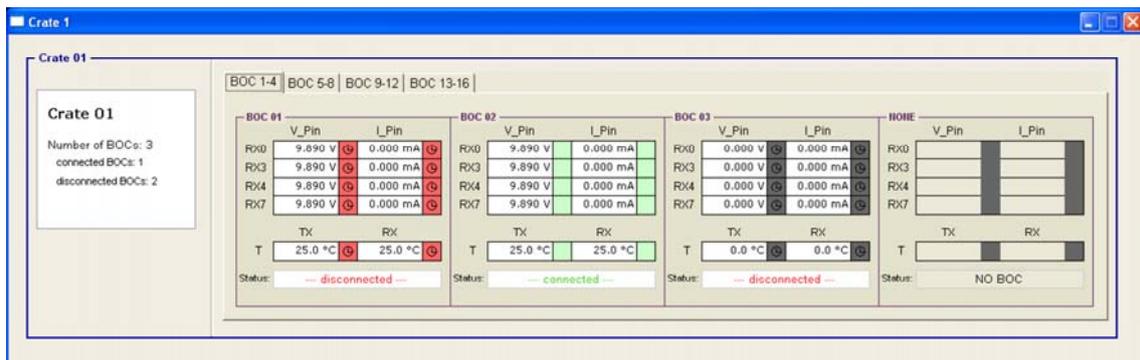


ABBILDUNG 5.20: Grafische Benutzeroberfläche zur Auslese der Back Of Crate Karten

Von Seiten des Detektorkontrollsystems sind dazu im Frühjahr 2006 Vorbereitungen gemacht worden<sup>15)</sup>. Abbildung 5.20 zeigt eine erste Version einer der grafischen Benutzeroberflächen. Zu sehen ist eine Übersicht aller aktiven BOCs pro Crate zusammen mit den simulierten Werten der von DCS überwachbaren Parameter. Im Einzelnen sind das die Spannungen und Ströme der Sende- und Empfangseinheiten (TX- und RX-Plugins) wie auch die Temperatur dieser Einheiten, da sie den temperaturkritischsten Bereich des BOCs bilden.

Auf Seiten der Datennahme muss der für die Kommunikation zuständige Prozess in die Kontrollsoftware des BOCs aufgenommen werden.

<sup>15)</sup>K. Latzsch, Diplomarbeit in Vorbereitung, Universität Wuppertal

## Distributed Information Management

Eine neue Version der Schnittstelle DDC wird das Distributed Information Management System (DIM) für die Kommunikation mit einem PVSS II Projekt verwenden. Der direkte Weg über Application Programming Interfaces (APIs) entfällt. Erfahrungen aus den Perioden des Teststrahls haben gezeigt, dass es durch die Abhängigkeit der PVSS II APIs von der Linux-Umgebung der Online Software zu Inkompatibilitäten zwischen PVSS II und DDC kam. Dadurch war die Schnittstelle zeitweise nicht verfügbar, was im späteren Experiment fatale Folgen hätte. Nähere Einzelheiten zu DIM finden sich unter [44].

# Kapitel 6

## Die Conditions-Datenbank

Der Einsatz und die Bedeutung von Conditions-Datenbanken nimmt in der fortschreitenden Entwicklung des ATLAS Experimentes immer weiter zu.

Die Conditions-Datenbank wird später all die Daten beinhalten, die den momentanen Zustand des Detektors beschreiben, und spielt daher eine wichtige Rolle bei der Rekonstruktion und der Analyse von physikalischen Ereignissen im Detektor. Conditions-Daten sind Zeit-variierende Daten, die sich im Vergleich zu den „Ereignis“-Daten langsam entwickeln, und werden in der Regel nicht ereignisorientiert gespeichert. Sie umfassen Informationen zur Detektorgeometrie, Ausrichtungs- und Kalibrationskonstanten, Überwachungsdaten und Detektorkontrollparametern. Da diese Daten von verschiedenen Systemen und mit unterschiedlichen Raten produziert werden, ist es notwendig, für jede Quelle eine eigene Schnittstelle zu entwickeln.

Im Folgenden wird die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Anbindung des Pixel Detektorkontrollsystems an eine ATLAS-weite Conditions-Datenbank beschrieben, wobei im Besonderen auf die dabei aufgetretenen Probleme eingegangen wird. Anschließend wird die Neuorientierung der übergeordneten Detektorkontrolle als Ausblick vorgestellt.

### 6.1 Anforderung

Die in der Conditions-Datenbank gemeinsam abgespeicherten Daten haben ihren Ursprung nicht nur in einer Vielzahl von unterschiedlichen Quellen, sondern werden im späteren Experiment auch von verschiedenen Applikationen und Anwendungen abgefragt.

So sind als Hauptnutzer zunächst das TDAQ- und das Offline-System des ATLAS Experiments aufzuführen. Das TDAQ-System wird die Daten dafür verwenden, um die Qualität der genommenen Daten von physikalischen Ereignissen im Detektor zu definieren und während des Betriebs darzustellen. Das Offline-System hingegen wird

im Anschluss die Daten in die Bestimmung von Kalibrationskonstanten, in die Untersuchung von Problemen, wie zum Beispiel die Verschiebung von Kenngrößen, und letztendlich in ihre Hauptaufgabe, die Rekonstruktion der physikalischen Ereignisse, einfließen lassen.

Als ein weiterer Nutzer ist der Subdetektor-Experte zu nennen, der unter anderem auch Daten der Detektorkontrolle benötigt, um die Historie eines Detektorelements zu analysieren. Dazu zählen im Falle des Pixeldetektors Fragen nach dem Verlauf des Leistungsvermögens oder Ursachen von abweichenden Alterungserscheinungen eines Detektormoduls.

Darüber hinaus wird auch das Detektorkontrollsystem auf seine in der Conditions-Datenbank hinterlegten Daten zurückgreifen. Diese werden hauptsächlich zur historischen Darstellung von DCS Parametern benötigt und dienen beispielsweise als Grundlage bei Untersuchungen des zeitlichen Verhaltens einer problematischen Hardware-Komponente des Detektorkontrollsystems oder der Ursachenfindung von aufgetretenen Systemfehlern.

Nach Kapitel 3 ist es für das Leistungsvermögen und damit auch für die Lebensdauer des gesamten Detektors nötig, dass die zugehörigen Detektorkontrollsysteme der Subdetektoren permanent in Betrieb sind. Dies schließt im Falle des Pixel Detektorkontrollsystems zum Beispiel unbedingt eine durchgängige Messung von DCS Parametern wie der Temperatur der Detektormodule und deren direkte Archivierung mit ein. Daher ist die Hauptanforderung, die ein Detektorkontrollsystem an eine Schnittstelle zu einer Conditions-Datenbank stellen muss, eine ständige Verfügbarkeit dieser Komponente und deren durchgehende Verbindung zur Datenbank.

Eine weitere Anforderung, die seitens des Offline-Systems gestellt wird, ist die Verfügbarkeit von DCS-Daten außerhalb des Detektorkontrollsystems. Wie bereits in Abschnitt 3.3 erläutert, werden sämtliche in der Hardware des Detektorkontrollsystems gemessenen Daten im Backend-System verwaltet, aufbereitet und dem Anwender über grafische Benutzeroberflächen zur Verfügung gestellt. Das zugrunde liegende SCADA System PVSS II besitzt dabei zur Archivierung dieser Werte ein eigenes Datenbanksystem. Mit diesem ist es möglich, lokal alle DCS-Daten zu hinterlegen. Neben dem Vorteil, dass die Archive Bestandteile des jeweiligen PVSS II Projektes sind und damit ständig zur Verfügung stehen, ist es ein großer Nachteil, dass die abgespeicherten Daten von außerhalb des SCADA Systems nicht direkt lesbar, sondern nur über einen nicht verhältnismäßigen Aufwand für externe Anwendungen zu extrahieren sind. Daher kamen zu diesem Zeitpunkt die PVSS II eigenen Archive zur Hinterlegung von Conditions-Daten beziehungsweise als Conditions-Datenbank für DCS Daten nicht in Frage.

Weiterhin müssen die abgespeicherten Daten so in der Datenbank hinterlegt werden können, dass spätere Abfragen sich möglichst einfach gestalten und sinnvolle Ergebnisse liefern. Das Bearbeiten der Daten basiert dabei auf einer speziellen deklarativen Programmiersprache, welche eine Reihe von Befehlen zur Definition von Datenstrukturen, zur Manipulation von Datenbeständen und zur Abfrage von Daten

zur Verfügung stellt. Durch komplizierte Datenbankstrukturen erhöht sich unweigerlich auch der Aufwand, die gewünschten Daten zu extrahieren.

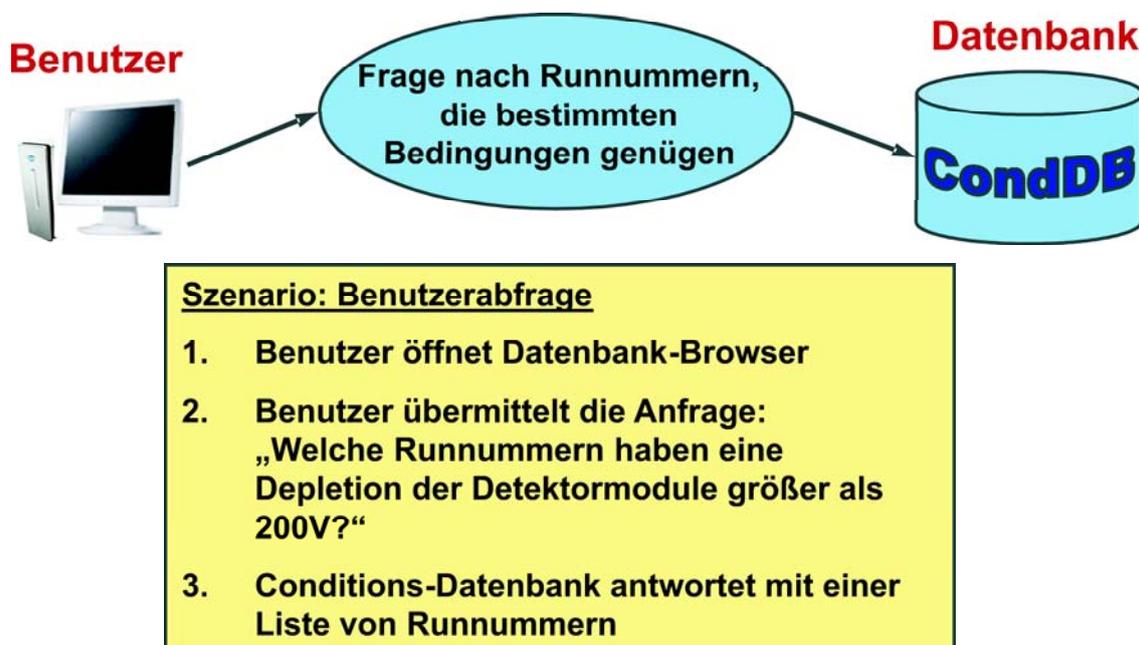


ABBILDUNG 6.1: Szenario einer möglichen Datenbankabfrage durch einen Benutzer

Abbildung 6.1 zeigt eine mögliche Abfrage von Archivierungsdaten, die in der Conditions-Datenbank hinterlegt sind. So wird hier die Frage gestellt, welche Runs bestimmte vorgegebene Bedingungen erfüllen.

Bezüglich einer späteren Rekonstruktion von physikalischen Ereignissen werden Abfragen vorkommen, die ereignisorientiert sind, das heißt, dass alle Daten bezogen auf einen bestimmten Run abgefragt werden. Aber auch das zeitliche Verhalten einer Variablen muss abfragbar sein. So ergibt zum Beispiel die Frage nach Schwankungen eines Parameters innerhalb eines gewissen Zeitraums eine Antwort über eventuell mehrere Runs.

Zu bemerken bleibt, dass auch zum jetzigen Zeitpunkt die Anforderungen an eine ALTAS-weite Conditions-Datenbank und ihre Architektur noch nicht vollständig spezifiziert sind. Im Besonderen gilt dies für die Entwicklung einer neuen Schnittstelle zwischen den Backend-Systemen der Detektorkontrollsysteme und der Conditions-Datenbank. Auf diesen Sachverhalt wird in Abschnitt 6.6 abschließend näher eingegangen.

## 6.2 Schnittstelle

In der Vorbereitungszeit zum „Combined Test Beam“ kamen seitens der ATLAS Detektorkontrolle für eine Schnittstelle zwischen einem Detektorkontrollsystem und der Conditions-Datenbank drei unterschiedliche Projekte in Betracht. Diese Vorgabe der Schnittstellen für die Subdetektoren basierte darauf, dass eine möglichst große Gemeinsamkeit bei der Verwendung von Komponenten und Schnittstellen in der Detektorkontrolle erreicht werden sollte. Ferner konnten durch die Subdetektoren Erfahrungen mit allen drei Schnittstellen gesammelt und anschließend verglichen werden.

Als erstes wurde ein innerhalb des Joint COntrols Project (JCOP) Frameworks konzipierter Prototyp einer Schnittstelle zu einem Datenbanksystem vorgeschlagen, welcher aber aufgrund von Arbeitskraftmangel nicht mehr weiterentwickelt werden konnte. Dadurch schied diese Option für den Einsatz am „Combined Test Beam“ aus.

Vielversprechend war die Ankündigung der Firma ETM<sup>1)</sup>, rechtzeitig eine selbst entwickelte Schnittstelle zu einem externen Datenbanksystem in eine neue Version des SCADA Systems PVSS II zu integrieren. Diese Schnittstelle sollte die interne Archivierung ohne Funktionalitätsverlust ersetzen können. Infolge Verzögerungen bei der Entwicklung sowie Problemen bei dem Leistungsverhalten der Schnittstelle stand diese nicht mehr pünktlich für die Detektorkontrollsysteme am „Combined Test Beam“ zur Verfügung.

Als dritte und schließlich einzige Möglichkeit wurde eine bereits im TDAQ System des ATLAS Detektors verwendete Schnittstelle zur Conditions-Datenbank angeboten. Diese wurde speziell um eine Anbindung der eingesetzten SCADA Software des Detektorkontrollsystems erweitert [45]. Daher wird im Folgenden nur auf diese von der Lissaboner TDAQ-Gruppe entwickelte Schnittstelle zwischen einem Detektorkontrollsystem und einem Datenbanksystem und deren Einsatz im Pixel Detektorkontrollsystems am „Combined Test Beam“ näher eingegangen.

Die für das ATLAS Experiment vorgesehene Schnittstelle zur Conditions-Datenbank basiert auf einer Weiterentwicklung des Conditions-Datenbank APIs, welches bereits im Projekt RD45 zum Einsatz kam, und ist in MySQL implementiert. MySQL ist ein relationales Open Source SQL<sup>2)</sup>-Datenbankverwaltungssystem der schwedischen Firma MySQL AB. SQL ist eine deklarative Sprache für relationale Datenbanken und stellt die verbreitetste standardisierte Sprache für Datenbankzugriffe dar.

Eine relationale Datenbank speichert Daten in separaten Tabellen, anstatt sie alle in einem einzigen, großen Speicherraum unterzubringen. Hierdurch werden nicht nur hohe Geschwindigkeiten erreicht, sondern man erhält zudem eine hohes Maß an Flexibilität. Die Tabellen selbst werden durch wohldefinierte Beziehungen miteinander verbunden (Relationen), wodurch es möglich ist, Daten aus verschiedenen

---

<sup>1)</sup>Hersteller und Vertreiber der SCADA-Software PVSS II

<sup>2)</sup>engl.: Structured Query Language (SQL)

Tabellen auf Nachfrage zu kombinieren. Daten können in unterschiedlichen Formen gespeichert werden – als Binary Large Object (BLOB), dessen interne Struktur in der Datenbank nicht sichtbar ist, als, wie bereits erwähnt, Tabellen oder sogar als externe Daten, wobei dann nur ihre Referenzen hinterlegt werden.

Allen Speicherprozeduren liegt zugrunde, dass ein späterer Zugriff auf die in der Conditions-Datenbank hinterlegten Daten über folgende Ordnungsstrukturen geschehen soll [46]:

- einen *Ordnernamen*, mit dem die Daten zuvor genau referenziert worden sind,
- ein *Gültigkeitsintervall IOV*<sup>3)</sup> mit Start- und Endzeit, in dem die Daten gültig waren und
- eventuell einen *Tag*, der einem bestimmten Satz oder einer bestimmten Version von Daten zugeordnet ist.

Durch diese minimale Funktionalität aus Referenz, IOV und Tag bildet die so definierte Datenbank, die auch als IOV-Datenbank bezeichnet wird, die Schlüsselkomponente der Conditions-Datenbank.

Speziell für die Daten der Detektorkontrollsysteme war innerhalb der Datenbank-Kollaboration vorgesehen, diese direkt in eine IOV-Datenbank in Tabellenform zu speichern.

Die Anbindung einer externen Applikation an die SCADA-Software PVSS II geschieht in der Regel über ein Application Programming Interface (API). Die Lissaboner TDAQ-Gruppe untersuchte im Vorfeld verschiedene Konzepte einer solchen Anbindung zusammen mit unterschiedlichen Datenbanksystemen und stellte als Ergebnis für die Detektorkontrollsysteme eine Schnittstelle zu einer MySQL Datenbank zur Verfügung<sup>4)</sup>.

Diese Schnittstelle besitzt für den Speichervorgang zwei Hauptfunktionen. So wird zunächst ein Satz von Tabellen in einer entsprechenden Anzahl von Ordnern in der Datenbank angelegt. Dieser Satz beinhaltet die Tabellen zur Datenaufnahme, aber auch Tabellen, die zur Konfiguration und Referenzierung gebraucht werden. Dort hinterlegt werden unter anderem die Namen der Ordner wie auch die Namen und das Format der zu speichernden Datenpunktelemente. Mit der zweiten Funktion werden die eigentlichen Daten unter ständiger Manipulation des zugehörigen Gültigkeitsintervalls vom Detektorkontrollsystem in die Conditions-Datenbank transferiert, zusammen mit Informationen über deren zugehörige Datenpunktstruktur.

Im Folgenden soll diese Funktionalität ausführlicher beschrieben werden.

---

<sup>3)</sup>engl.: Interval Of Validity (IOV)

<sup>4)</sup>Einzelheiten finden sich in [47] und [48]

## 6.3 Speichermechanismus

Nach dem automatischen Starten des PVSS II API-Managers 'CondDBMysql' im PVSS II Hauptprojekt 'ATLASPixDCS' liest sich der Manager zunächst seine pixel-spezifische Konfiguration ein, die in einer eigens dafür angelegten PVSS II Datenpunktstruktur im Hauptprojekt hinterlegt sein muss. Zur Konfiguration zählen neben Informationen zur Datenbank wie die Namen des Datenbank-Servers, der eigentlichen Datenbank und des Anwenders mitsamt Passwort auch die Bezeichnungen aller zur Speicherung definierten Datenpunkte des Pixel Detektorkontrollsystems (vergleiche Abbildung 6.2).

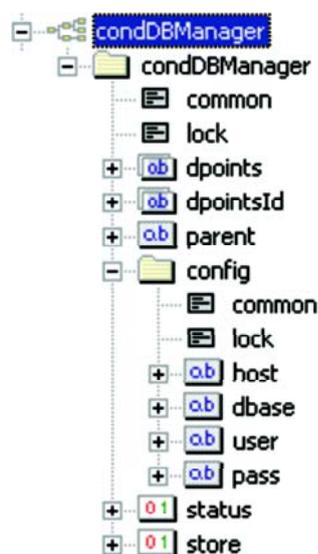


ABBILDUNG 6.2: Datenpunktstruktur zur Konfiguration des PVSS II API-Managers 'CondDBMysql'

Der Aufbau der Verbindung zum Detektorkontrollsystem erfolgt dann durch die Kontaktierung jedes einzelnen Datenpunktelements seitens des PVSS II API-Managers. Gleichzeitig wird von diesem auch überprüft, ob die in der Konfiguration festgelegte Datenbank definiert und erreichbar ist und ob für jedes einzelne Datenpunktelement bereits eine Tabelle dort angelegt ist. Ist dies nicht der Fall, wird vom API-Manager eine zugehörige Tabelle eingerichtet (vergleiche Abbildung 6.3).

Nach dem erfolgreichen Aufbau der Verbindung zwischen dem Detektorkontrollsystem und der Conditions-Datenbank werden alle Werte der zuvor kontaktierten Datenpunktelemente einmalig gelesen und in den zugehörigen Tabellen der Conditions-Datenbank hinterlegt. Dabei wird für jede entsprechende Zeile der Tabellen ein Gültigkeitsintervall definiert. Dessen Anfangszeit ist gegeben durch den Zeitstempel der

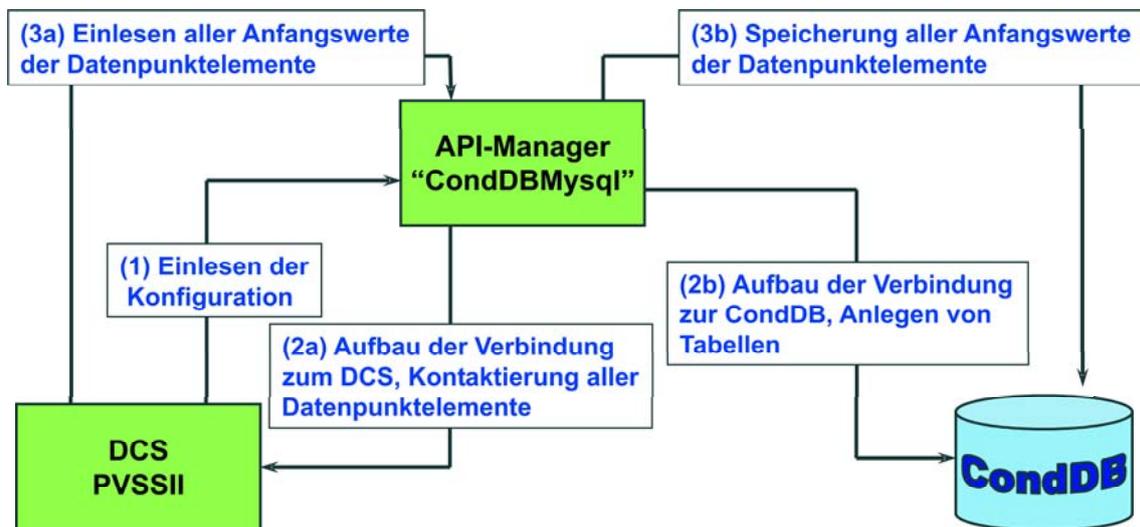


ABBILDUNG 6.3: Verbindungsaufbau zwischen Detektorkontrollsystem und Conditions-Datenbank

Variablen innerhalb von PVSS II, während die Endzeit des Intervalls vorübergehend auf unendlich gesetzt wird (vergleiche Tabelle 6.1, oberer Teil).

Ändert sich diese Variable im Wert, so wird zunächst eine neue Zeile in der Tabelle erzeugt. Der Zeitstempel des neuen Wertes dient dabei aber nicht nur als Anfangszeit seines eigenen Gültigkeitsintervalls sondern auch als Endzeit des Zeitintervalls des vorangegangenen Wertes. Hier wird der Eintrag für die Endzeit von vormals unendlich auf den neuen Zeitstempel gesetzt (vergleiche Tabelle 6.1, unterer Teil).

Eintrag	Since (GMT)	Till (GMT)	HVvoltage
[1]	2004-Oct-12 14:03:21	+inf	149.8
↓			
Eintrag	Since (GMT)	Till (GMT)	HVvoltage
[1]	2004-Oct-12 14:03:21	2004-Oct-12 14:03:27	149.8
[2]	2004-Oct-12 14:03:27	+inf	149.7

TABELLE 6.1: Auszug aus der Conditions-Datenbank für die Kenngröße Spannung des Parameters Hochspannung

## 6.4 Erfahrungen mit der Schnittstelle

Vom Standpunkt des Pixel Detektorkontrollsystems sind unter Conditions-Daten für die Rekonstruktion hauptsächlich Angaben über Spannungen, Ströme, Temperaturen sowie Statusinformationen zu verstehen, die direkt im Detektorkontrollsystem oder der umgebenden Infrastruktur ihren Ursprung haben. All diese Werte sind in der Conditions-Datenbank zu archivieren, um anschließende Analysen zu ermöglichen, Aussagen über die Datenqualität zu treffen und um sie in die Rekonstruktion von physikalischen Ereignissen einfließen lassen zu können.

Reine DCS Daten, die nur innerhalb des Detektorkontrollsystems ihre Anwendung finden, sollten zum damaligen Zeitpunkt ebenfalls komplett, aufgrund der Nichtzugänglichkeit der PVSS II Archive von außen, in der Conditions-Datenbank hinterlegt werden. Sämtliche Daten, die innerhalb des Backend-Systems produziert werden, sind bis heute daher ebenfalls seitens der Datenbank-Kollaboration als Conditions-Daten definiert.

Bezüglich der angebotenen Schnittstelle sollten aus Sicht der Pixel Detektorkontrolle am „Combined Test Beam“ folgende Punkte untersucht werden:

- Kompatibilität der vorhandenen Datenpunktstruktur und Kontrollskripte mit dem angebotenen Speichermechanismus
- Messung der produzierten Datenmenge zur besseren Abschätzung der später im Experiment zu erwartenden Datenmenge
- Handhabung der Schnittstelle und Untersuchungen zur Automation des Speichervorgangs
- Zuverlässigkeit der Schnittstelle

Archiviert wurde bezogen auf ein Pixel-Detektormodul, der Verlauf der Temperatur, Spannung und Strom der Depletion des Sensors, des Weiteren Strom und Spannung der analogen und digitalen Versorgung sowie ein Gesamtstatus<sup>5)</sup>. Um innerhalb des Detektorkontrollsystems die Qualität und Verfügbarkeit der optischen Datenübertragung zu überwachen, wurden alle drei Kanäle der zugehörigen Versorgungskomponente (SC-OLink) in Strom und Spannung in der Conditions-Datenbank abgelegt. Es handelte sich um die Depletion der PIN-Diode, die Parameter des Arbeitspunktes der VCSEL sowie die Versorgung des Controller Chips des Optoboards. Zusätzlich wurden die Daten der drei im Volumen des Pixelaufbaus am „Combined Test Beam“ installierten Temperatursensoren in der Conditions-Datenbank hinterlegt. Diese

---

<sup>5)</sup>Dieser wurde, wie bereits in Abschnitt 5.3.5 beschrieben, durch eine im Rahmen dieser Arbeit entwickelte DCS Zustandsmaschine gebildet.

dienten der Überwachung der Kühlung und damit indirekt der Funktionstüchtigkeit der Detektormodule [49].<sup>6)</sup>

Auf eine Archivierung von reinen DCS Daten in der Conditions-Datenbank, die nur für den internen Gebrauch vorgesehen waren, wurde im Rahmen dieser Arbeit verzichtet, da deren Werte bereits im PVSS II eigenen Archiv hinterlegt wurden. Das war nötig, um dem DCS-Experten im Falle von Schwierigkeiten schnell und einfach innerhalb des Backend-Systems Informationen über die Historie des Systems zukommen zu lassen. Da ferner die Umsetzung zur Speicherung von reinen DCS-Daten identisch ist mit der von Daten für die Rekonstruktion, ließen sich dadurch keine zusätzlichen Erkenntnisse erwarten.

Durch die relativ späte Entscheidung für nur eine Schnittstelle, erfolgte die Integration der Schnittstelle in das bestehende Pixeldetektorkontrollsystem am CERN Anfang Oktober 2004 vor Ort. Die gesamte Einsatzdauer am „Combined Test Beam“ betrug daher etwa sechs Wochen.

### 6.4.1 Datenpunktstruktur

Speicherbar sind grundsätzlich sämtliche Elemente der Datenpunktstruktur eines PVSS II Projektes, wobei jedoch der Datenpunkt 'Struktur' Einschränkungen unterliegt.

- **Einzelwerte**

Unter einem Einzelwert ist ein einziges PVSS II Datenpunktelement (DPE) zu verstehen (vergleiche Abbildung 6.4(a)). Innerhalb der Conditions-Datenbank wird für jeden angemeldeten Einzelwert eine eigene Tabelle angelegt. Bei einer Werteänderung innerhalb des Detektorkontrollsystems wird der neue Wert mit seinem Zeitstempel der Tabelle zugeführt.

- **Array**

Unter einem Array ist ein PVSS II Datenpunktelement (DPE) mit einer dynamischen Array-Formatierung zu verstehen (vergleiche Abbildung 6.4(b)). Innerhalb der Conditions-Datenbank wird für jedes angemeldete Array eine eigene Tabelle angelegt. Jedem Array-Element wird dabei automatisch nach der Reihenfolge im Datenpunktelement ein Spalten-Feld in der aktuellen Zeile zugeordnet. Ändert sich innerhalb des Detektorkontrollsystems der Wert eines Elements im Array, werden die Werte des gesamten Arrays komplett in gleicher Reihenfolge wie zuvor in der Tabelle angehängt. Dabei gilt der Zeitstempel des Arrays, in dem das Element eine Werteänderung erfahren hat, für die ganze Zeile.

---

<sup>6)</sup>Hier sei angemerkt, dass es innerhalb der Kollaboration bis zum heutigen Zeitpunkt nicht geklärt ist, welche Daten des Detektorkontrollsystems für die spätere Rekonstruktion gebraucht werden.

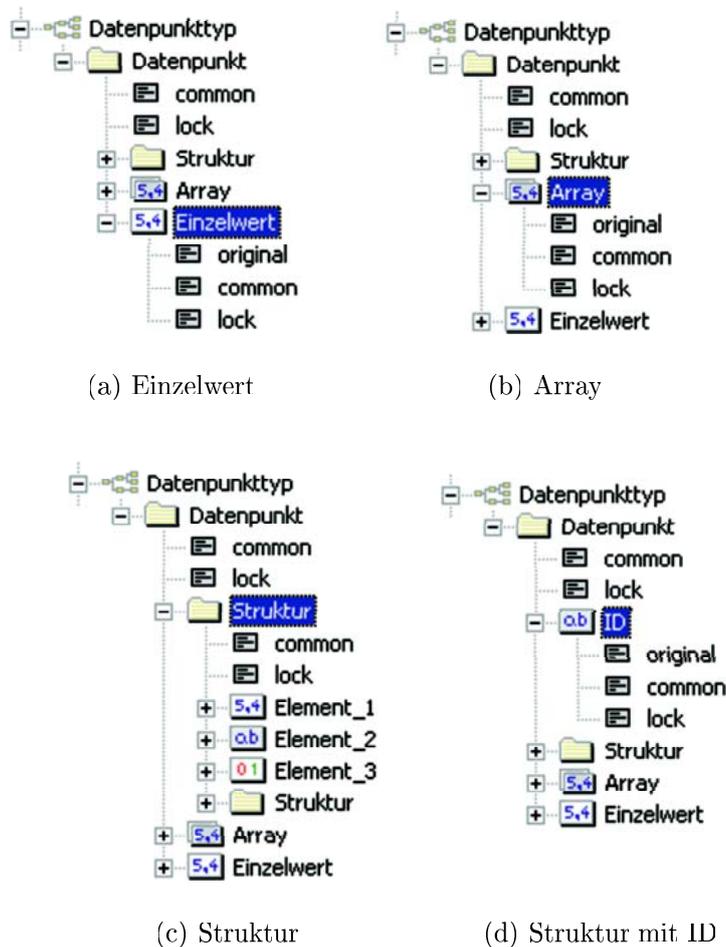


ABBILDUNG 6.4: *Unterschiedliche Datenpunktstrukturen innerhalb von PVSS II*

- **Struktur**

Unter einer Struktur ist ein PVSS II Knoten zu verstehen. Dieser Knoten trägt selbst keine Werte, sondern dient als Oberbegriff für Datenpunktelemente unterschiedlichen Formats oder auch, wie in Abbildung 6.4(c) dargestellt, für weitere Strukturen. Innerhalb der Conditions-Datenbank wird für jeden angemeldeten Knoten eine eigene Tabelle angelegt. Jedem Datenpunktelement wird dabei automatisch nach der Reihenfolge im Knoten ein Spalten-Feld in der aktuellen Zeile zugeordnet. Ändert sich ein Datenpunktelement im Wert, werden die Werte aller DPE des Knotens in gleicher Reihenfolge wie zuvor in der Tabelle angehängt. Dabei gilt der Zeitstempel des DPEs, welches eine Werteänderung erfahren hat, für die gesamte Zeile.

- **Struktur mit ID**

Unter einer Struktur mit ID ist ein PVSS II Knoten mit einem eindeutig bestimmten Datenpunktelement zu verstehen, welches sich in der Datenpunkt-hierarchie immer an der ersten Position befinden muss (vergleiche Abbildung 6.4(d)) und als ID bezeichnet wird. Ändert sich mit Ausnahme des IDs zunächst ein Element des Datenpunktes im Wert, so werden alle Werte der DPE wie zuvor in gleicher Reihenfolge in der Tabelle angehängt. Auch hier gilt der Zeitstempel des DPEs, welches eine Werteänderung erfahren hat, für die gesamte Zeile. Allerdings wird im weiteren Verlauf das auf diese Art entstehende Gültigkeitsintervall zusätzlich gegen den ID synchronisiert. Ändert sich der ID im Wert, so wird die aktuelle Zeile mit einer auf unendlich gesetzten Endzeit abgeschlossen und die neuen Werte werden in einer neuen Zeile gespeichert. Das ist gleichbedeutend mit dem Beenden des aktuellen Gültigkeitsintervalls und dem Beginn eines neuen.

Während des „Combined Test Beams“ kamen zunächst alle vier speicherbaren Elemente der PVSS II Datenpunktstruktur als Grundlage für die Speicherung im Pixel Detektorkontrollsystem zum Einsatz. Um den Betrieb nicht zu stören beziehungsweise die Datennahme der physikalischen Ereignisse im Detektor nicht zu unterbrechen, kam zusätzlich ein separates Backend-System des Pixel Detektorkontrollsystems zur Anwendung, welches aber in der Funktion vollkommen identisch mit dem regulären Backend-System war. Beide Backend-Systeme wurden für eine kurze Testphase als verteiltes System betrieben. Damit hatte das separate System Zugriff auf alle Daten der DCS Frontend-Komponenten.

Ein erster Einsatz der Schnittstelle im regulären Pixel Detektorkontrollsystem zeigte erhebliche Probleme. Es ergaben sich Schwierigkeiten mit der abgespeicherten Datenmenge pro Zeiteinheit und der im PVSS II Projekt 'ATLASPixDCS' vorhandenen Datenpunktstruktur. Im Folgenden wird auf die Probleme genauer eingegangen, um eine am Ende dieses Abschnittes vorgestellte Lösung zu motivieren.

### **Problem: Datenmenge**

Erste Speichervorgänge mit den Elementen Einzelwert, Array und Struktur zeigten ein enormes Datenaufkommen zwischen dem Pixel Detektorkontrollsystem und der Conditions-Datenbank. Tabelle 6.2 veranschaulicht es am Beispiel der Kenngrößen des DCS Spannungsversorgungssystems SC-OLink, welche zusammen als Struktur durch die Schnittstelle in der Conditions-Datenbank angemeldet waren.

Aufgrund der sehr kleinen Werteänderungen, welche in erster Linie durch die hohe Anzahl der Nachkommastellen bedingt waren, sowie aufgrund der durch das Frontend Integration Tool (FIT) vorgegebenen Gruppierung der Daten, kam es zu sehr vielen, zeitlich dicht aufeinander folgenden Speichervorgängen. Es konnten zeitweise bis zu 450 Einträge pro Minute beobachtet werden.

Eintrag	Since (GMT)	Till (GMT)	VPin_IMeas	VPin_VMeas	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
[345]	...21:53:44.35	...21:53:44.57	4,82296	10,9755	...
[346]	...21:53:44.57	...21:53:44.76	4,82285	10,9755	...
[347]	...21:53:44.76	...21:53:45.02	4,82285	10,9721	...
[348]	...21:53:45.02	...21:53:45.17	4,82287	10,9721	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

TABELLE 6.2: Auszug aus der Conditions-Datenbank für die DCS Hardware-Komponente SC-OLink

Legt man die Datengröße einer Zeile bei 6 Kenngrößen mit etwa 150 B fest, so errechnet sich eine maximale Gesamtgröße von 67,5 kB pro Minute. Eine Übertragung auf das Pixel Detektorkontrollsystem mit einer Gesamtanzahl von 272 SC-OLinks lässt eine Datenmenge von 18,4 MB pro Minute abschätzen.

Somit ist an dieser Stelle ersichtlich, dass die Schnittstelle zwischen dem Pixel Detektorkontrollsystem und der Conditions-Datenbank in der vorgegeben Form nicht im Pixel DCS Backend-System einsetzbar war. Vielmehr bedurfte es an Änderungen im Backend-System, im Besonderen an Maßnahmen zur Reduktion der zu speichernden Datenmenge, um einen effizienten Betrieb zu gewährleisten.

### Problem: Wahl des IDs

Die Festlegung des IDs in einer PVSS II Datenpunktstruktur muss sehr sorgfältig vorgenommen werden.

Eintrag	Since (GMT)	Till (GMT)	Dummy	temperature
[1]	2004-Oct-6 11:31:42	2004-Oct-6 11:32:42	1	52.99
[2]	2004-Oct-6 11:32:42	2004-Oct-6 11:33:42	1	52.97
[3]	2004-Oct-6 11:33:42	+inf	1	52.93
[4]	2004-Oct-6 11:34:42	2004-Oct-6 11:35:42	2	52.93
[5]	2004-Oct-6 11:35:42	2004-Oct-6 11:36:42	2	52.84
[6]	2004-Oct-6 11:36:42	2004-Oct-6 11:37:42	2	52.82
[7]	2004-Oct-6 11:37:42	+inf	2	52.82
[8]	2004-Oct-6 11:38:42	2004-Oct-6 11:39:42	9	52.82

TABELLE 6.3: Auszug aus der Conditions-Datenbank mit günstiger ID-Wahl

Tabelle 6.3 zeigt die in der Conditions-Datenbank abgespeicherte Historie der Temperatur eines Detektormoduls. Sie wurde von einem separaten Detektorkontrollsystem während des „Combined Test Beams“ im Rahmen der vorbereitenden Untersuchungen aufgenommen. Als ID wurde ein Dummy-Datenpunktelement in die

PVSS II Datenpunktstruktur für ein Detektormodul eingebracht, welches der Benutzer im Wert verändern konnte. Es ist zu sehen, dass das aktuelle Gültigkeitsintervall mit einer Werteänderung des Dummys in Zeile 3 beendet und ein neues in Zeile 4 begonnen wird. Dieses wiederum wird in Zeile 7 abgeschlossen. Damit erstreckt sich, auf den ID bezogen, das letzte Gültigkeitsintervall, in dem sich die Temperatur geändert und damit Einträge erzwungen hat, über 3 Minuten.

In dem am „Combined Test Beams“ eingesetzten Pixel Detektorkontrollsystem ließ sich für die Festlegung eines IDs nur die vom System Integration Tool (SIT) erzeugte Datenpunktstruktur der Detektormodule nutzen. Deren erstes Datenpunktelement war durch die Variable 'temperature' vorgegeben. Benutzte man diese vorsätzlich als ID, so zeigt Tabelle 6.4, dass der Mechanismus zur Definition des Gültigkeitsintervalls nicht mehr anwendbar war.

Eintrag	Since (GMT)	Till (GMT)	temperature	HVvoltage
[1]	2004-Oct-6 11:31:42	+inf	52.99	150.035
[2]	2004-Oct-6 11:32:42	+inf	52.95	150.035
⇓				
Eintrag	Since (GMT)	Till (GMT)	temperature	HVvoltage
[1]	2004-Oct-6 11:31:42	2004-Oct-7 12:01:42	52.99	150.035
[2]	2004-Oct-6 11:32:42	2004-Oct-7 18:03:42	52.95	150.035
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
[79]	2004-Oct-7 11:59:42	2004-Oct-7 17:59:42	53.06	150.036
[80]	2004-Oct-7 12:00:42	+inf	52.98	150.038
[81]	2004-Oct-7 12:01:42	+inf	52.99	150.037
[82]	2004-Oct-7 12:02:42	+inf	53.02	150.037

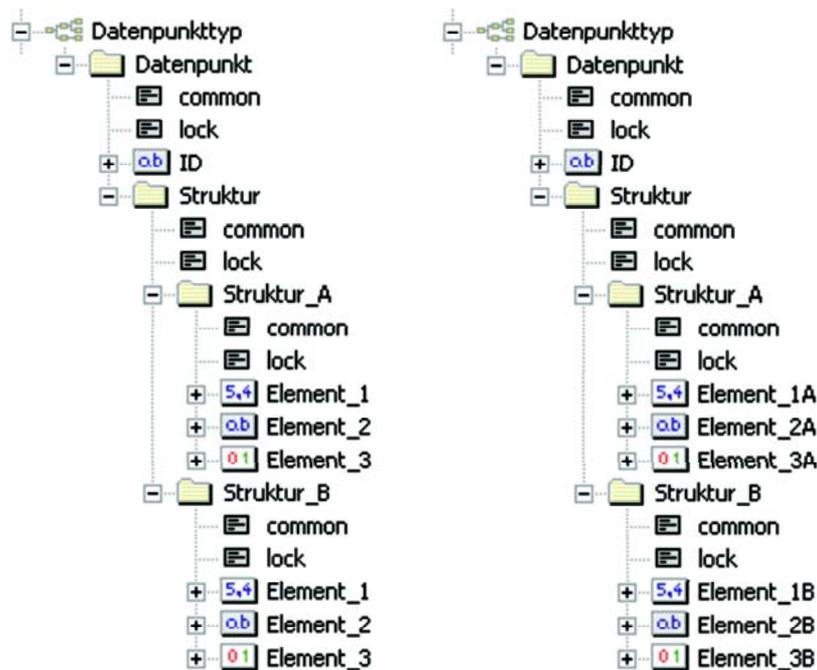
TABELLE 6.4: Auszug aus der Conditions-Datenbank mit ungünstiger ID-Wahl

Als Beispiel dafür soll die erste Zeile der oberen Tabelle betrachtet werden. So wird nach dem eingangs beschriebenen Verfahren die Endzeit der ersten Spalte durch eine Werteänderung der Variable 'temperature' auf unendlich gesetzt und eine neue Zeile begonnen. Mit diesem Vorgang ist das Gültigkeitsintervall der ersten Zeile abgeschlossen. Wiederholt sich nun aber der exakte Wert der Variablen im weiteren Verlauf (Zeile 81), so wird durch den PVSS II API-Manager die aktuelle Zeit als Endzeit der ersten Zeile gesetzt und die aktuelle Zeile als Abschluss des nunmehr falschen Gültigkeitsintervalls gesetzt. Betrachtet man nun zusätzlich das auf gleiche Weise entstandene Gültigkeitsintervall der zweiten Zeile, so kann bei einer Suchanfrage nicht mehr eindeutig entschieden werden, welche der beiden Werte der Variablen zu einem bestimmten Zeitpunkt (zum Beispiel: 2004-Oct-7 00:00:00) gültig ist.

Somit ist für die Datenextraktion ein Suchkriterium, welches nach einem Gültigkeitsintervall fragt, hier nicht mehr möglich. Vielmehr muss innerhalb des Pixel Detektorkontrollsystems nach einem eindeutigen Parameter gesucht werden, der als ID geeignet ist.

### Problem: Datenpunktstruktur

Die zuvor erwähnte Einschränkung auf die speicherbare PVSS II Struktur 'Knoten' basiert darauf, dass eine Unterstruktur, die selbst wieder aus Knoten besteht, nicht berücksichtigt und damit auch nicht in der Conditions-Datenbank abgebildet wird. Vielmehr werden alle Datenpunktelemente gemeinsam in einer dem obersten Knoten zugeordneten Tabelle untergebracht.



(a) Ungültige Datenpunktstruktur    (b) Gültige Datenpunktstruktur

ABBILDUNG 6.5: Datenpunktstruktur für einen Knoten

Abbildung 6.5(a) zeigt zunächst eine ungültige Bezeichnungsweise für den Knoten 'Datenpunkt'. In diesem Fall würden die Datenpunktelemente 'Element\_1', 'Element\_2' und 'Element\_3' aus dem Knoten 'Struktur\_A' in der Tabelle nicht mehr von den beiden gleichnamigen Elementen des Knotens 'Struktur\_B' zu unterscheiden sein. Dagegen zeigt Abbildung 6.5(b) eine für den Speichervorgang gültige Definition.

Diese Einschränkung zwingt zu einer unübersichtlicheren und starren Definition der abzuspeichernden Datenpunktstruktur. So müssen entweder alle verwendeten Datenpunkttypen ohne Unterstrukturen im Datenpunktbaum des PVSS II Projektes definiert sein oder es muss die komplette Unterstruktur für jedes einzelne Element unterschiedlich bezeichnet sein. Das widerspricht aber dem geografischen Ansatz (vergleiche Abbildung 4.1, Seite 67) des System Integration Tools (SIT) und konnte daher nicht mit der vorhandenen, dynamischen Datenpunktstruktur zur Deckung gebracht werden.

### Lösungsansatz

Um für das Pixel Detektorkontrollsystem am „Combined Test Beam“ ein effizientes Abspeichern der Daten in der Conditions-Datenbank zu gewährleisten, wurden nacheinander mehrere Schritte durchgeführt:

1. *Wahl des Parameters 'Runnummer' als ID*

Basierend auf der Definition eines Runs, nach der unter einem Run eine zeitliche Periode der Datennahme von physikalischen Ereignissen unter stabilen Bedingungen zu verstehen ist, bietet sich die Verbindung der abzuspeichernden Daten mit einem Run auf natürliche Weise an. Ein Run wird mit einer fortlaufenden und damit eindeutigen Zahl, der Runnummer, gekennzeichnet. Diese Nummer wird zentral im TDAQ System generiert und durch den Dienst Information Service (IS) der Online Software allen Applikationen des TDAQ Systems zur Verfügung gestellt.

Bezüglich des Pixel Detektorkontrollsystems wurde die in Kapitel 5 bereits beschriebene Kommunikation zwischen DAQ und DCS (DDC) für die Bereitstellung der Runnummer im Pixel DCS Backend-System benutzt. Durch Einbringen von zusätzlichen Kontrollskripten sowie jeweils eines weiteren Datenpunkts als ID in die vorhandene Datenpunktstruktur der Detektormodule, des SC-OLinks und der Temperatursensoren, ließen sich die gemessenen Daten im Pixel DCS mit der Runnummer verknüpfen.

Damit konnte nun zwar eine eindeutige Zuordnung der Daten zu einem Run sichergestellt werden, aber durch die weiterhin sehr schnelle Änderung der einzelnen Werte erhielt das zugehörige Gültigkeitsintervall sehr viele, zeitlich kurz aufeinander folgende Einträge in der entsprechenden Tabelle und erzeugte eine zu hohe Datenmenge in der Conditions-Datenbank.

2. *Verknüpfung des Speichervorgangs mit Transition-Befehlen*

Während des „Combined Test Beams“ kam es zwischen zwei Runs unter anderem aufgrund von Wartungsarbeiten oder Umkonfiguration der Subdetektoren zu längeren Wartepausen, in denen keine Datennahme stattfand. Daher war in

diesen Pausen ein Abspeichern der Werte von Variablen, die für eine eventuelle Rekonstruktion von physikalischen Ereignissen gebraucht werden, in der Condition-Datenbank nicht sinnvoll. Allein reine DCS Daten, die zur Fehlersuche im Detektorkontrollsystem gebraucht werden könnten, müssen auch zwischen zwei Runs gesichert werden, da das DCS permanent in Betrieb ist. Am „Combined Test Beam“ wurde zur Sicherung dieser Art von Daten nicht die Conditions-Datenbank sondern die PVSS II eigenen Archive benutzt<sup>7)</sup>. Damit war eine Trennung der Verbindung zwischen dem Detektorkontrollsystem und der Datenbank während einer Run-Pause grundsätzlich möglich. Es musste also nach einer Automatisierung zur Unterbrechung des Speichervorgangs in Abhängigkeit von der Datennahme gesucht werden. Hierbei bot sich ebenfalls der Einsatz der Schnittstelle zur Kommunikation zwischen DAQ und DCS (DDC) an.

Wie bereits in Abschnitt 2.4.5 beschrieben, wird ein Run mit bestimmtem Zustandswechsel innerhalb der DAQ Zustandsmaschine 'Run Control' gestartet beziehungsweise gestoppt. Damit verbunden sind nach Kapitel 5 Transition-Befehle, die von einem Detektorkontrollsystem benutzt werden können. Im Pixel Detektorkontrollsystem ließ sich auf diese Weise der Aufbau der Verbindung zur Conditions-Datenbank und das Einleiten des Speicherns der gewünschten Daten mit dem Transition-Befehl 'starttrigger' verknüpfen. Der Übergang 'stoptrigger' beendete den Speichervorgang und meldete die zuvor aufgebaute Verbindung zur Conditions-Datenbank ab.

Zwar konnte gezeigt werden, dass sich die abgespeicherte Datenmenge durch die Maßnahme reduzieren ließ. Doch während eines Runs wurden immer noch durch die weiterhin bestehende hohe Änderungsrate der Variablen erhebliche Datenmengen produziert.

### 3. Zeitabhängiges Kopieren aller relevanten Daten

Erst durch die Definition neuer zusätzlicher Datenpunktstrukturen innerhalb des PVSS II Projektes für das Pixel Detektorkontrollsystem sowie die Verwendung weiterer Kontrollskripte konnte die Transferrate deutlich herabgesetzt werden.

So wurde, wie in Abbildung 6.6 schematisch dargestellt, die spontane Werteänderung einer Variablen, auf die der eigentliche Speichermechanismus reagierte, durch eine zeitlich geregelte Werteänderung ersetzt. Dazu musste zunächst für alle in Abschnitt 6.4 aufgeführten Größen (Detektormodul, SC-OLink und Temperatursensor) eine eigene zusätzliche Datenpunktstruktur in das bestehende Detektorkontrollsystem eingebracht werden. Die einzelnen Strukturen enthielten als Datenpunktelemente alle für die Archivierung in der Conditions-

---

<sup>7)</sup>Aufgrund der kleinen Speicherkapazität der angebotenen Conditions-Datenbank wurden die Detektorkontrollsysteme entgegen der damaligen Anforderungen angewiesen, die Conditions-Datenbank nicht für die Historie der DCS Daten zu nutzen.

Datenbank vorgesehenen Variablen zusammen mit einem Datenpunktelement für die Runnummer als ID der neu geschaffenen Struktur (DP-Struktur DB). Kontrollskripte kopierten gleichzeitig die aktuellen Daten der ursprünglichen Datenpunkte (DP-Struktur SIT) zusammen mit der aktuellen Runnummer (Dp-Struktur DDC) in die neu angelegten. Durch die Anmeldung der so neu geschaffenen Datenpunktstruktur durch den API-Manager ist es nun möglich, durch Kopieren der Daten gezielt eine Werteänderung herbeizuführen und einen Speichervorgang zu initiieren.

Am „Combined Test Beam“ wurden alle Originaldaten am Anfang eines Runs, minütlich während und am Ende eines Runs kopiert.

Da die Originaldaten zusätzlich, wie in Abschnitt 5.3.5 bereits beschrieben, mit einer im Rahmen dieser Arbeit entwickelten DCS Zustandsmaschine gekoppelt waren, ließ sich bei Über- oder Unterschreiten eines Limits durch eine Variable das Speicherintervall automatisch verkürzen. Damit war es möglich, eine feinere Granularität in den Messwerten zu erhalten.

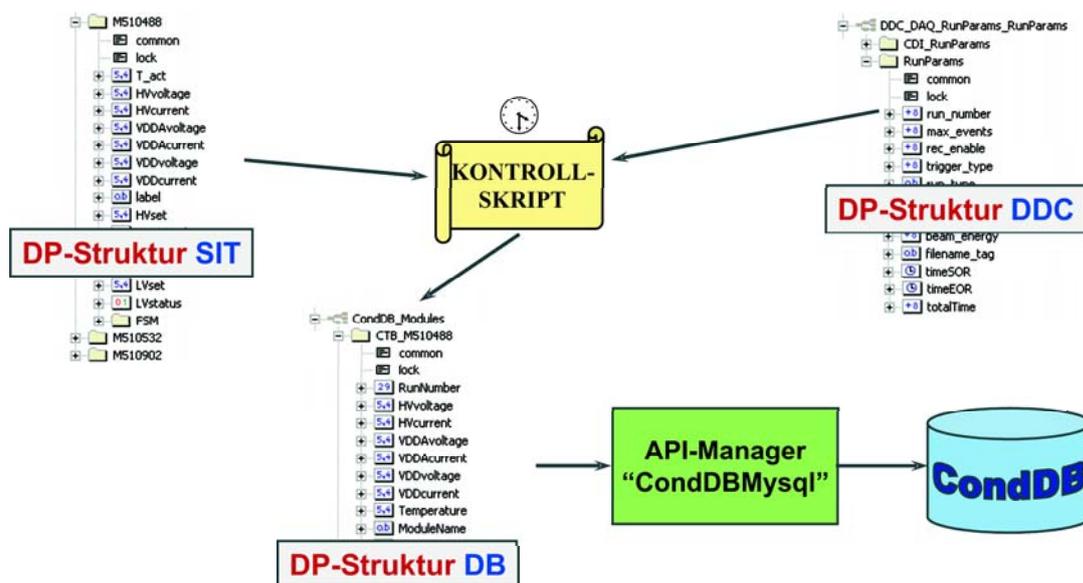


ABBILDUNG 6.6: Schematische Darstellung des modifizierten Speichermechanismus' durch zeitabhängiges Kopieren aller relevanten Daten

Insgesamt zeigte sich, dass die Schnittstelle zwischen einem Detektorkontrollsystem und der Conditions-Datenbank nicht in der vorgesehenen Weise zu implementieren war, da ein PVSS II interner Mechanismus zur Datenreduktion fehlte (siehe Abschnitt 6.4.4). Vielmehr musste massiv das vorhandene Backend-System des Pixel Detektorkontrollsystems durch zusätzliche Datenpunktstrukturen und Kontrollskripte erweitert werden, um eine effiziente Datenarchivierung zu erreichen.

## 6.4.2 Tabellen und Datenbank-Struktur

Für die am „Combined Test Beam“ eingesetzten sechs Detektormodule wurde durch die neu eingeführte Datenpunktstruktur jeweils eine eigene Tabelle in der Conditions-Datenbank angelegt. Jede dieser Tabellen erhielt aus dem Backend-System heraus die Parameter Runnummer, Temperatur, Strom und Spannung der Hochspannungversorgung, je Strom und Spannung des analogen und digitalen Teils der Niederspannungversorgung sowie einen aus der oben erwähnten DCS Zustandsmaschine generierten Gesamtstatus. Dies ergab eine Gesamtanzahl von 9 Parametern zuzüglich 2 weiteren Einträgen für die Anfangs- und Endzeit des Gültigkeitsintervalls.

Bezüglich des Versorgungssystems der Optoboards (SC-OLink) musste nur eine Tabelle in der Datenbank angelegt werden, die die Runnummer und je Strom und Spannung der drei Versorgungskanäle als Parameter des SC-OLinks enthielt. Dies summierte sich zu insgesamt 9 Einträgen, wobei 7 auf die Parameter des SC-OLinks und wiederum 2 auf die Anfangs- und Endzeit entfielen.

Für die drei Temperatursensoren, die sich im Inneren des Versuchsaufbaus befanden, wurde jeweils eine eigene Tabelle gewählt, die als Einträge neben der Runnummer nur noch die Temperatur besaßen. Die Tabellen enthielten dann zusammen mit den Zeiten 4 Einträge.

Somit wurden insgesamt zur Speicherung der Daten aus dem Pixel Detektorkontrollsystem in der Conditions-Datenbank insgesamt 10 Tabellen angelegt.

Nach den Aktivitäten und Erfahrungen der Datenbank-Gruppe am „Combined Test Beam“ wurden für eine effektive Datenbanknutzung seitens der Detektorkontrollsysteme bei Verwendung der hier vorgestellten Schnittstelle zwischen DCS und Datenbank folgende Beschränkungen aufgestellt:

1. *Die Gesamtanzahl der Tabellen einer Datenbank ist auf eine Anzahl von wenigen 100 zu beschränken.*

Damit liegt die Anzahl der verfügbaren Tabellen für jedes der Detektorkontrollsysteme eines Subdetektors in der Größenordnung von  $O(10)$ . Grund für diese Beschränkung waren Probleme in der Leistungsfähigkeit des API-Managers durch die Verwaltung einer enorm hohen Anzahl von Tabellen. So benutzten andere Detektorkontrollsysteme die pseudo-hierarchische Datenpunktstruktur des Joint COntrols Project (JCOP) Frameworks, wodurch sich zum Beispiel die Daten der analogen Kanäle eines Embedded Local Monitor Boards (ELMB) auf allein 64 Tabellen verteilten, da jeder Kanal bedingt durch die zugehörige Datenpunktstruktur durch den API-Manager als Einzelwert angesehen wurde.

2. *Die Anzahl der Spalten ist auf eine Größenordnung von  $O(100)$  zu beschränken.*

Grund für diese Beschränkung war ebenfalls die Beobachtung eines Leistungsverlusts des API-Managers bei der Behandlung von Tabellen mit einer hohen

Spaltenanzahl. So wurde durch den verwendeten Speichermechanismus nicht nur das dem veränderten Wert zugeordnete Feld in der Tabelle neu beschrieben, sondern die gesamte Zeile. Dies führte zu Einträgen in jeder Spalte, obwohl sich eben der Wert nur in einer Spalte geändert hatte. Bei Tabellen mit sehr vielen Spalten kann durch Datenstau daher die Leistung eingeschränkt werden.

Diese Anforderungen sind unter Verwendung der angebotenen Schnittstelle mit dem bisher für das Pixel Detektorkontrollsystem entwickelte Backend-System und dessen Datenpunktstruktur nicht zu erfüllen. Durch die einfache Beziehung, dass die Anzahl der Datenpunktelemente einer Variable gleich der Spaltenanzahl der zugeordneten Tabelle ist, ergibt sich allein für eine Anzahl von 1744 Detektormodulen mit minimal jeweils 11 Einträgen insgesamt 19184 benötigte Spalten. Deren sinnvolle Verteilung und Gruppierung in einer begrenzten Anzahl von verfügbaren Tabellen mit wenigen Spalten ist so nicht gegeben.

Berücksichtigt man zusätzlich, dass im späteren Experiment sämtliche DCS-Daten ebenfalls in der Conditions-Datenbank untergebracht sein sollen, ist diese Schnittstelle mit den getroffenen Einschränkungen für das Pixel Detektorkontrollsystem nicht mehr anwendbar.

Zu bemerken ist an dieser Stelle, dass die am „Combined Test Beam“ verwendeten MySQL-Version<sup>8)</sup> herstellerbedingt auf eine maximale Anzahl von 3398 Spalten und 65534 Zeilen pro Tabelle beschränkt ist, wogegen die Anzahl der Tabellen nahezu beliebig<sup>9)</sup> sein darf [51]. Allerdings kann die Erzeugung großer Mengen von Tabellen in derselben Datenbank durch interne Operationen wie 'öffnen' oder 'schließen' von Tabellen das Leistungsvermögen der Datenbank beeinträchtigen.

### 6.4.3 Datenmenge

Eine Messung der gesamten durch das Pixel Detektorkontrollsystem am „Combined Test Beam“ archivierten Datenmenge erfolgte über einen Zeitraum von 21 Tagen. In dieser Zeit wurden in den Tabellen der Komponenten jeweils etwa 7 100 Zeilen angehängt. Abbildung 6.7 zeigt eine abschließende Zusammenfassung dieser Messung.

So ist ersichtlich, dass während des Einsatzes der Schnittstelle zwischen Detektorkontrollsystem und Conditions-Datenbank für eine dem Detektormodul zugeordnete Tabelle ein Speicherplatz von etwa 1,0 MByte benötigt wurde. Für das Versorgungssystem des Optoboards lag dieser Bedarf bei ungefähr 1,1 MByte, für einen einzelnen Temperatursensor dagegen bei rund 0,6 MByte.

---

<sup>8)</sup> Versionsnummer der Entwicklungsumgebung ist mit 3.23.41 oder größer angegeben [50]

<sup>9)</sup> Eine Obergrenze ist durch die vom verwendeten Betriebssystem maximal zulässige Größe einer Datei gegeben.

pixel_dcs Folder Summary			
Type	Count	Size / bytes	
BLOBTAG	1	0	
STRUCT	1	0	
STRUCTID	10	8804009	

pixel_dcs Folder Details			
Folder	Type	Table	Size / bytes
/	BLOBTAG	None	0
/CTBV5	STRUCT	None	0
/CTBV5/System1:CTB_M510448.	STRUCTID	data_tbl_onl_65_1	1009724
/CTBV5/System1:CTB_M510532.	STRUCTID	data_tbl_onl_66_1	1005596
/CTBV5/System1:CTB_M510902.	STRUCTID	data_tbl_onl_67_1	1009692
/CTBV5/System1:CTB_M510909.	STRUCTID	data_tbl_onl_68_1	1007644
/CTBV5/System1:CTB_M510953.	STRUCTID	data_tbl_onl_69_1	1005596
/CTBV5/System1:CTB_M510997.	STRUCTID	data_tbl_onl_70_1	1006620
/CTBV5/System1:CTB_Box1.	STRUCTID	data_tbl_onl_71_1	562147
/CTBV5/System1:CTB_Box2.	STRUCTID	data_tbl_onl_72_1	545763
/CTBV5/System1:CTB_Box3.	STRUCTID	data_tbl_onl_73_1	559075
/CTBV5/System1:CTB_SCOLink_63.	STRUCTID	data_tbl_onl_74_1	1092152

ABBILDUNG 6.7: Zusammenfassung der produzierten Datenmenge aller angemeldeten DCS Variablen

Bei der Betrachtung der anfallenden Datenmenge ist zu berücksichtigen, dass jede Zeile per Definition bereits 58 Byte für die Angabe der Anfangs- und Endzeit des Gültigkeitsintervalls erfordert. Addiert man den Speicherbedarf der Datenpunktelemente, der gegeben ist durch die Anzahl der Stellen der Variablen, so lässt sich unter Annahme eines mittleren Speicherintervalls von 5 Minuten der Jahresbedarf für die hier eingesetzten Komponenten abschätzen.

Komponente	Datengröße Zeile [B]	Datengröße pro Jahr und Komponente [MB]	Gesamtanzahl Komponente	Datengröße pro Jahr [GB]
Detektormodul	150	15.8	1 744	27.5
Temperatur	80	8.4	580	4.9
SC-OLink	153	16.1	272	4.4

TABELLE 6.5: Abschätzung des Jahres-Speicherbedarfs in der Conditions-Datenbank für ausgewählte Komponenten

Aus Tabelle 6.5 folgt, dass für das Pixel Detektorkontrollsystem ein Mindestspeicherplatz von 36,8 GByte pro Jahr in der Conditions-Datenbank zu veranschlagen ist.

Nach [52] ergaben Abschätzungen anderer Detektorkontrollsysteme für den SCT 40 GByte pro Jahr, für den TRT 300 GByte sowie für die Überwachung der Parameter des Inneren Detektors, welche den Subdetektoren gemein sind, 1 GByte. Damit liegt die hier gemachte Abschätzung für das Pixel DCS im Rahmen derer der anderen Subdetektoren.

Andere Abschätzungen, wie zum Beispiel in [4], gehen von  $\sim 100$  MByte/Run aus. Diese Datenmenge beinhaltet alle für diesen Run genommenen Conditions-Daten und ist verschwindend gering im Vergleich zum Aufkommen der Rohdatenmenge von  $\sim 300$  MByte/s.

#### 6.4.4 Glättungsprozesse und die Notwendigkeit zur Filterung

PVSS II stellt zur Reduzierung des Kommunikationsaufwands und der Datenmengen verschiedene, frei parameterisierbare Glättungsalgorithmen zur Verfügung. Diese sind zeit-, wertebezogen oder flankenabhängig und sind teilweise miteinander kombinierbar. Allerdings lassen sich diese Algorithmen nicht innerhalb des Datenpunktkonzeptes, das heißt im Besonderen bei der Glättung eines Datenpunktelements, verwenden. Vielmehr sind sie einerseits darauf ausgerichtet, von der Peripherie gelieferte Daten auf der Treiber-Ebene zu glätten, bevor sie als Originalwerte im Projekt weiterverarbeitet werden. Andererseits lassen sich nur Werte, die vom Event-Manager kommen, glätten, bevor diese zur Peripherie gelangen. Damit gibt es innerhalb von PVSS II keine direkte, effektive Lösung zur Reduktion der aktuell im System zu verarbeitenden Datenmenge.

Wie bereits in Abschnitt 6.4.1 angeführt, ließ sich am „Combined Test Beam“ eine Datenreduktion zwar durch das Anlegen einer zusätzlichen Datenpunktstruktur und das zeitbasierte Kopieren aller relevanten Größen erreichen. Diese Vorgehensweise ist aber nur mit der Beschränkung auf wenige Parameter effektiv anwendbar, auf die zu erwartende Anzahl von etwa 46 000 Kenngrößen im späteren Pixel Detektorkontrollsystem nicht mehr.

Messungen mit einem Backend-System, welches nach der Teststrahl-Periode in Wuppertal speziell dafür um zusätzliche Kontrollskripte und Datenpunktstrukturen erweitert wurde, ergaben eine minimale Zeitspanne von 20 ms für einen einzelnen Kopiervorgang. Dieser beinhaltete das Auslesen einer Variablen der ursprünglichen Datenpunktstruktur und das anschließende Schreiben des Wertes in den neu geschaffenen Datenpunkt, welcher durch den API-Manager zwecks Speicherung beobachtet wurde. Legt man nun im ungünstigsten Fall etwa 46 000 benötigte Kopiervorgänge zugrunde, so unterscheiden sich die Zeiten für verschiedene Arbeitsszenarien gemäß Tabelle 6.6 erheblich.

Obwohl die parallele Abarbeitung des gesamten Kopiervorgangs als tatsächlich einzige Möglichkeit im Bereich akzeptabler Zeiten liegt, ist dieser Ablauf nur mit einem unverhältnismäßig hohen technischen Aufwand zu bewerkstelligen. Die Verwaltung

Abarbeitung	Umsetzung	Gesamtzeit
Schleife	erneuter Aufruf der Funktion für Kopiervorgang (n + 1) nach Ausführung des n-ten	$46\,000 \cdot 20\text{ ms} \approx \mathbf{920\text{s}}$
parallel	Auslösen von 46 000 identischen Kontrollskripten, Verzögerung 1. bis 46 000. Aufruf $\approx 7\text{ s}$	$20\text{ ms} + 7\,000\text{ ms} \approx \mathbf{7\text{s}}$

TABELLE 6.6: Abschätzung der Kopierzeit aller Datenpunkte im Pixel Detektorkontrollsystem für den ungünstigsten Fall

einer so großen Anzahl von nachträglich einzubringenden Kontrollskripten sowie das gleichzeitige Anstoßen derselben zieht eine enorme Anzahl von weiteren Kontroll-Managern wie auch zusätzliche Datenpunktstrukturen und sogar neue Kontrollskripte mit sich nach. Als einzige Möglichkeit ist anzusehen, dass es daher während des Kopiervorgangs zu Leistungseinbußen innerhalb des eingesetzten Backend-Systems kommen kann und damit die eigentliche Aufgabe, den sicheren Betrieb des Detektors zu gewährleisten, nicht mehr zu erfüllen wäre.

Fundierte Messungen zum Leistungsvermögen konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr durchgeführt werden, da zu diesem Zweck in Wuppertal und an anderen Instituten noch kein Pixel Detektorkontrollsystem in diesem Ausmaß zur Verfügung stand und eine Simulation für nicht durchführbar gehalten wurde. Darüber hinaus hätte eine Messung massive Eingriffe in das in Wuppertal betriebene kleinere Kontrollsystem bedeutet und anderweitige Untersuchungen für einen längeren Zeitraum blockiert. Um realistische Aussagen unter experimentellen Bedingungen treffen zu können, müssten weitere Bestandteile wie die DCS Zustandsmaschine sowie die Anbindung der Detektorkontrolle an externe Systeme komplett integriert sein. Erst deren Zusammenwirken wie auch ihre Auswirkungen aufeinander lassen das Leistungsvermögen der Detektorkontrolle bestimmen.

Bei der Verwendung des eigentlichen Speichermechanismus' der Schnittstelle, nachdem ein Wert in der Conditions-Datenbank hinterlegt wird, sobald der zugehörige PVSS II Datenpunkt aufgefrischt wird, kam es, wie schon erwähnt, zu einer unverhältnismäßig großen Anzahl von Speichervorgängen innerhalb kürzester Zeit. Daher muss zusätzlich ein Filter auf Datenpunktebene eingeführt werden. Dieser hat zunächst den Aufrischvorgang zu unterdrücken und in Abhängigkeit von frei definierbaren Parametern zu entscheiden, ob der neue Wert im entsprechenden Datenpunktelement gesetzt wird oder nicht.

Angelehnt an die Filteralgorithmen der Standard-Ausleseinheit der Detektorkontrolle (ELMB) [53] lassen sich für die Glättung von Datenpunktelement-Werten zwei unterschiedliche Verfahren vorschlagen: bei Änderungen des Wertes um einen bestimmten Betrag und durch die Definition eines Wertefensters um einen Nominal-

wert herum. Beide Arten sollten dabei eigenständig aber auch gemeinsam auf eine Variable anwendbar sein.

- *Änderung um einen Betrag*

In dieser Glättungsart wird ein Wert nur dann vom Filter durchgelassen, wenn sich dieser von einem Initialwert um einen wohldefinierten Betrag unterscheidet und eine frei wählbare Anzahl von aufeinander folgenden Werten diese Änderung bestätigen. Wird anschließend ein neuer Wert gesetzt, dient dieser als neuer Referenzwert.

- *Definition eines Wertefensters*

In dieser Glättungsform wird ein Wert vom Filter durchgelassen, wenn dieser ein frei definierbares Wertefenster verlässt oder wieder betritt. Beim Verlassen des Fensters soll eine Änderung erst nach einer vorgegeben Anzahl von aufeinander folgenden Werten, die sich alle außerhalb des Fensters befinden müssen, weitergegeben werden. Beim Eintritt in das Fenster soll der neue Wert sofort gesetzt werden, sofern zuvor eine Änderung außerhalb des Fensters registriert worden ist.

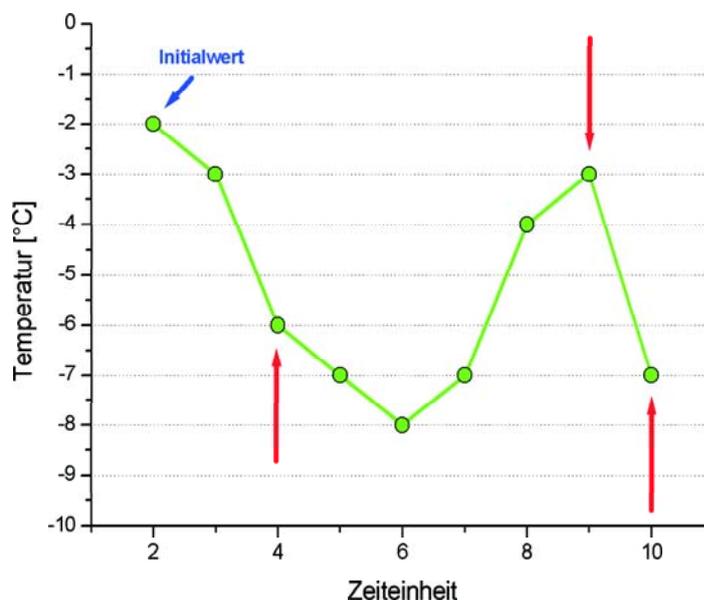


ABBILDUNG 6.8: Glättungsprozess bei Änderung des aktuellen Wertes um einen bestimmten Betrag

Abbildung 6.8 zeigt am Beispiel der Temperatur eines Detektormoduls den Vorgang bei Änderung der Temperatur um eine Differenz von 3 K.

Werte, die mit einem Pfeil gekennzeichnet sind, passieren den Filter und werden im zugehörigen Datenpunktelement gesetzt.

Abbildung 6.9 stellt dagegen am Beispiel einer Depletionsspannung das Verhalten des Filters mit der Definition eines Wertefensters dar. Dieses beträgt  $\pm 0,1$  V um eine Nominalspannung von 149,7 V. Auch hier passieren die Werte, die mit einem Pfeil gekennzeichnet sind, den Filter. Als zusätzliche Bedingung müssen zwei aufeinander folgende Werte die Änderungen bestätigen.

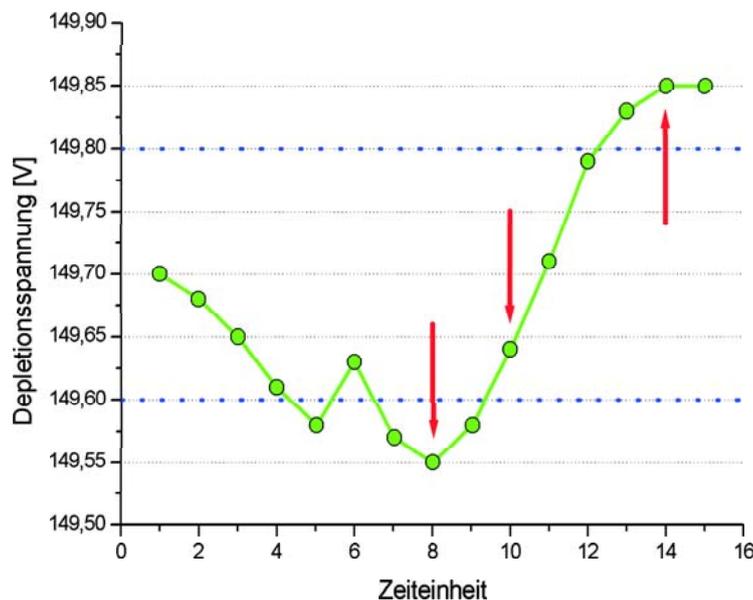


ABBILDUNG 6.9: Glättungsprozess bei Verlassen oder Betreten eines Wertefensters durch den aktuellen Wert

Einem Datenpunkt kann über die Datenpunktparameterisierung eine Funktion zugewiesen werden. Damit sind mathematische Verknüpfungen von unterschiedlichen Datenpunkten realisierbar. Die Funktion des Datenpunkts enthält einen oder mehrere Parameter, aus denen der Funktionswert gemäß der hinterlegten Definition berechnet und dem Originalwert des Datenpunktes zugewiesen wird. Als Parameter sind dabei Werte von Elementen anderer Datenpunkte zu verstehen.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass bezüglich der Parameter nur Datenpunkte eines Systems verwendet werden können. Somit kann eine Berechnung, die auf Daten aus einem verteilten System<sup>10)</sup> beruhen wird, nicht mehr durchgeführt werden. Des Wei-

<sup>10)</sup> Ein verteiltes System basiert auf der Kopplung mehrerer autonomer PVSS II Systeme, vergleiche Abschnitt 3.3.6

teren lassen sich umfangreichere Abfragen wie auch weitere Datenpunktfunktionen nicht als Datenpunktparameterisierung umsetzen.

Die Implementierung der beiden Filteralgorithmen auf Datenpunktebene ließ sich daher nur durch zusätzliche Kontrollskripte wie auch weitere Datenpunktelemente bewerkstelligen. Die Notwendigkeit der externen Skripte gründete sich auf die Komplexität der Abfrage und die Berechnung der Fallunterscheidungen, die der zusätzlichen Datenpunktelemente auf die Hinterlegung der Vergleichswerte und die Historie.

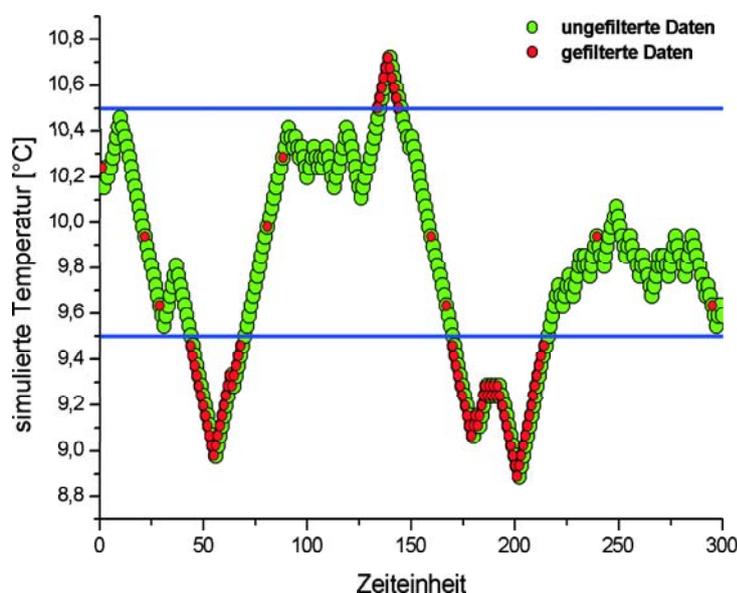


ABBILDUNG 6.10: *Wirkungsweise beider Filteralgorithmen innerhalb einer Simulation einer Temperatur; Fenstergröße  $\pm 0,5$  K, Nominaltemperatur  $10,0^{\circ}\text{C}$ , maximale Differenz  $0,3$  K*

Simulationen an einem separaten PVSS II System bestätigten zunächst die sehr gute Funktionalität der Filter. Abbildung 6.10 stellt beispielgebend den Temperaturverlauf für einen beliebigen Zeitraum dar, wobei beide Filtermethoden gleichzeitig zum Einsatz kamen. Als Fenstergröße wurde  $\pm 0,5$  K um eine Nominaltemperatur von  $10,0^{\circ}\text{C}$  gewählt, mit einer zulässigen Änderung der Temperatur um eine Differenz von  $0,3$  K.

So konnte bei sehr stabilen Verläufen eine Datenreduktion bis auf 3 % der ursprünglichen Menge erreicht werden. Bei einem unruhigeren Verlauf verkleinert sich dieser Effekt, besonders, wenn das Wertefenster verlassen und die notwendige Anzahl aufeinander folgender Werte klein gewählt wurde. Die Simulationen zeigten aber

auch, dass dieser gemeinsame Glättungsprozess ebenfalls nur mit einem unverhältnismäßig hohen technischen Einsatz betrieben werden kann. Des Weiteren muss die Benutzung von Filtern zu jeder Zeit automatisch konfigurierbar bleiben. So sind bei Kenngrößen, wie zum Beispiel Spannungen während einer Datennahme physikalischer Ereignisse im Detektor, weitaus engere Grenzen denkbar, als wenn keine Datennahme stattfindet und der Detektor nur betriebsbereit gehalten wird. Dadurch kommt es innerhalb des Detektorkontrollsystems zu weiteren Verwaltungsaufgaben und damit zu einem hohen Verbrauch an Rechnerleistung.

Die Notwendigkeit von Glättungsprozessen steht außer Frage, die Art und Weise der Implementierung von Filtern wird aber zur Zeit noch innerhalb der Wuppertal DCS Gruppe wie auch gemeinsam mit DCS-Experten anderer Subdetektoren diskutiert. Die aktuelle Einführung einer neuen Schnittstelle zur Conditions-Datenbank zeigt alternative Möglichkeiten auf.

### 6.4.5 Extraktion der Daten

Die in der Conditions-Datenbank hinterlegten Daten konnten während der Phase des „Combined Test Beams“ und darüber hinaus mittels eines webbasierten Browsers betrachtet werden. Diese grafische Benutzeroberfläche ermöglichte die Darstellung der Daten durch Vorgabe eines Zeitintervalls in Tabellenform. Zusätzlich ließen sich die Werte durch Auswahl einer Relation zu einem beliebigen Wert filtern.

Zur Extraktion der pixelspezifischen Daten, die vom Pixel Detektorkontrollsystem in der Conditions-Datenbank abgelegt worden waren, stand dagegen am „Combined Test Beam“ kein direktes Hilfsmittel zur Verfügung. Vielmehr mussten die Detektorkontrollsysteme der Subdetektoren ihre eigenen Schnittstellen zur Conditions-Datenbank entwickeln. Das war zu diesem Zeitpunkt nötig, da nach Abschnitt 6.4.1 jede Spalte einer Tabelle einem bestimmten PVSS II Datenpunktelement zugeordnet war und dessen subdetektorspezifische Bezeichnung immer als Suchkriterium in eine mögliche Abfrage mit eingehen musste. Daher war eine für alle Kontrollsysteme gültige Schnittstelle nicht durchführbar.

Um Daten erheben zu können, wurde im Rahmen dieser Arbeit eine eigene Schnittstelle entwickelt, die es erlaubte, Daten aus der am CERN befindlichen Datenbank nach Wuppertal zu extrahieren. Hierzu wurde die von MySQL angebotene Entwicklungsumgebung MySQL++ API benutzt. In dieser stellt MySQL eine C++ Bibliothek zur Verfügung, die die Entwicklung von MySQL-Anwendungen ermöglicht. Die Grundlage dabei bildet ein fest vorgebener, klar strukturierter Programmablauf:

1. Verbindung zum MySQL-Datenbank-Server herstellen
2. Datenbank auswählen
3. Abfrage absetzen

4. Zeile einlesen / Feld einlesen
5. Ergebnismenge verarbeiten
6. Verbindung schließen und Ressourcen freigeben

Durch Umsetzung dieses Ansatzes ließen sich unter Kenntnis der Datenbankstruktur sowie der Bezeichnung der hinterlegten Variablen sämtliche Daten in ASCII-Dateien schreiben. Diese wiederum konnten von Programmen zur Datenvisualisierung weiterverarbeitet werden. Ein Einlesen der zuvor gespeicherten Daten in das Pixel Detektorkontrollsystem ist auf diesem Wege möglich.

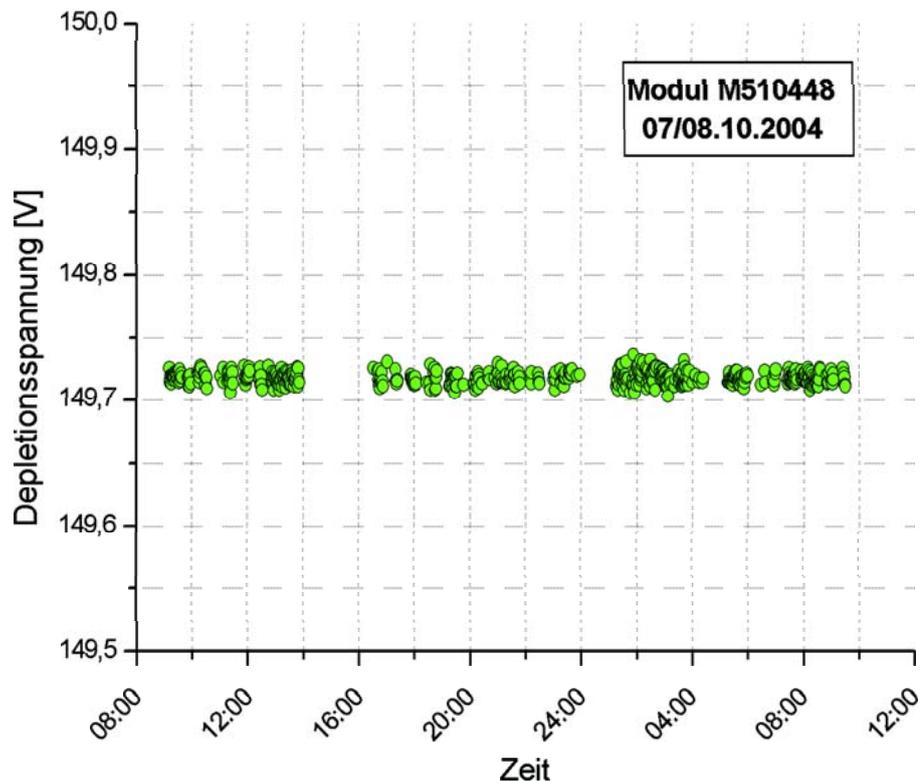


ABBILDUNG 6.11: Verlauf der Depletionsspannung eines Detektormoduls für einen vorgegebenen Zeitraum, dargestellt mit Werten aus der Conditions-Datenbank

Abbildung 6.11 zeigt, grafisch aufbereitet, die aus der Conditions-Datenbank extrahierte Depletionsspannung des Detektormoduls M510488 mit der Vorgabe eines Start- und Enddatums als übergeordnetes Suchkriterium. Die Unterbrechungen in

der Datennahme erklären sich durch die Kopplung des Speichervorgangs mit dem Starten und Beenden mehrerer Runs. Damit konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, Daten bereitzustellen, um das Verhalten einer Kenngröße über einen längeren Zeitraum beurteilen zu können.

Das Ergebnis einer typischen Abfrage mit der Runnummer als übergeordnetem Suchkriterium zeigt Abbildung 6.12. Zu sehen ist das zeitliche Verhalten des Versorgungsstroms der PiN-Diode der optischen Datenübertragung während eines Runs. In diesem Fall konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, die in der Conditions-Datenbank gespeicherten Daten Run-orientiert zu extrahieren.

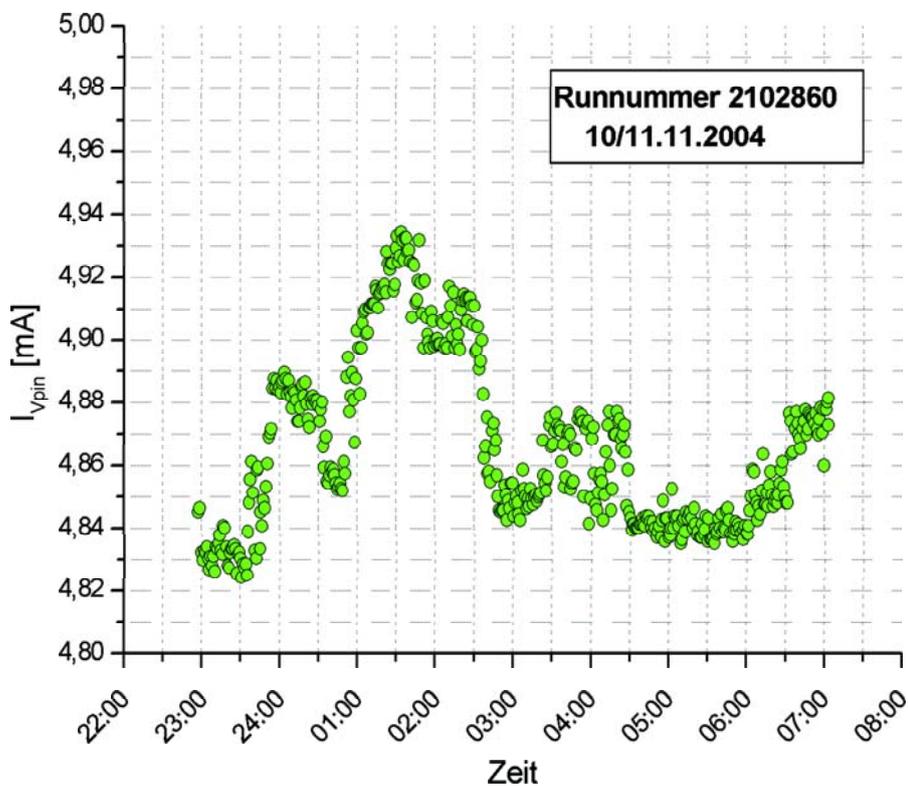


ABBILDUNG 6.12: Verlauf des Versorgungsstroms der PiN-Diode der optischen Datenübertragung für eine vorgegebene Runnummer, dargestellt mit Werten aus der Conditions-Datenbank

Um für eine spätere Rekonstruktion physikalischer Ereignisse Daten des Pixel Detektorkontrollsystems zur Verfügung stellen zu können, bedurfte es der Entwicklung einer ähnlichen Abfrage-Schnittstelle für den Pixeldetektor im Software-Verbund 'Athena' der Offline Software.

Durch den überraschenden Stop der Weiterentwicklung an der Lissaboner Schnittstelle zwischen einem Detektorkontrollsystem und der Conditions-Datenbank zur Speicherung von DCS-Daten in der ersten Jahreshälfte 2005, konnten die Erfahrungen aus dem „Combined Test Beam“ nicht in eine dringend benötigte neue Version dieser Schnittstelle einfließen. Daher entschied sich die ATLAS DCS-Gruppe für die Entwicklung eines eigenen Interfaces zur Sicherung von DCS-Daten in der Conditions-Datenbank als neue Grundlage für alle Detektorkontrollsysteme. Durch die in Abschnitt 6.6 näher beschriebene Umstrukturierung wird in Zukunft zusätzlich eine für alle Subdetektoren gültige Schnittstelle für die Daten-Abfrage innerhalb der Datenbank-Kollaboration konzipiert. Eigenentwicklungen sind somit nicht mehr zulässig.

Daher konnten die im Rahmen dieser Dissertation bereits durchgeführten Arbeiten an einer Schnittstelle zwischen der Conditions-Datenbank und 'Athena' nicht mehr fortgesetzt werden.

#### 6.4.6 Aufgetretene Fehler

Während des Einsatzes der Schnittstelle am „Combined Test Beam“ kam es mehrmals auf Seiten des Pixel Detektorkontrollsystems zu einem Absturz des für die Kommunikation zuständigen API-Managers. Das hatte zur Folge, dass die Verbindung zur Conditions-Datenbank für die Ausfallzeit unterbrochen war und keine Daten hinterlegt werden konnten. Da es innerhalb von PVSS II für diese Art von Manager keine Prozeduren für einen automatischen Neustart existieren, musste der Manager jeweils immer von Hand neu initiiert werden, was die Ausfallzeit deutlich verlängerte. Zwischenzeitlich war sogar ein Neustart des gesamten Projektes nötig. Es stellte sich zudem heraus, dass diese Ausfälle nicht nur auf das Pixel Detektorkontrollsystem beschränkt, sondern auch von den Kontrollsystemen anderer Subdetektoren zu beobachten waren.

Gemeinsame Untersuchungen von DCS-Experten der Subdetektoren mit den Entwicklern der Schnittstelle dazu wurden während der Teststrahlphase angemahnt. Diese konnten aber aufgrund von Arbeitskraftmangel innerhalb der Lissaboner TDAQ-Gruppe sowie durch den Weggang des Hauptentwicklers nicht mehr durchgeführt werden. Somit lassen sich die Gründe für die Ausfälle nachträglich nicht fundiert erklären.

Zu bemerken bleibt, dass eine Unterbrechung des Speichervorgangs im späteren Experiment fatale Folgen hätte. Daher muss, nicht nur im Rahmen des Pixel Detektorkontrollsystem, ein Notfallmechanismus bei zukünftigen Neuentwicklungen berücksichtigt werden.

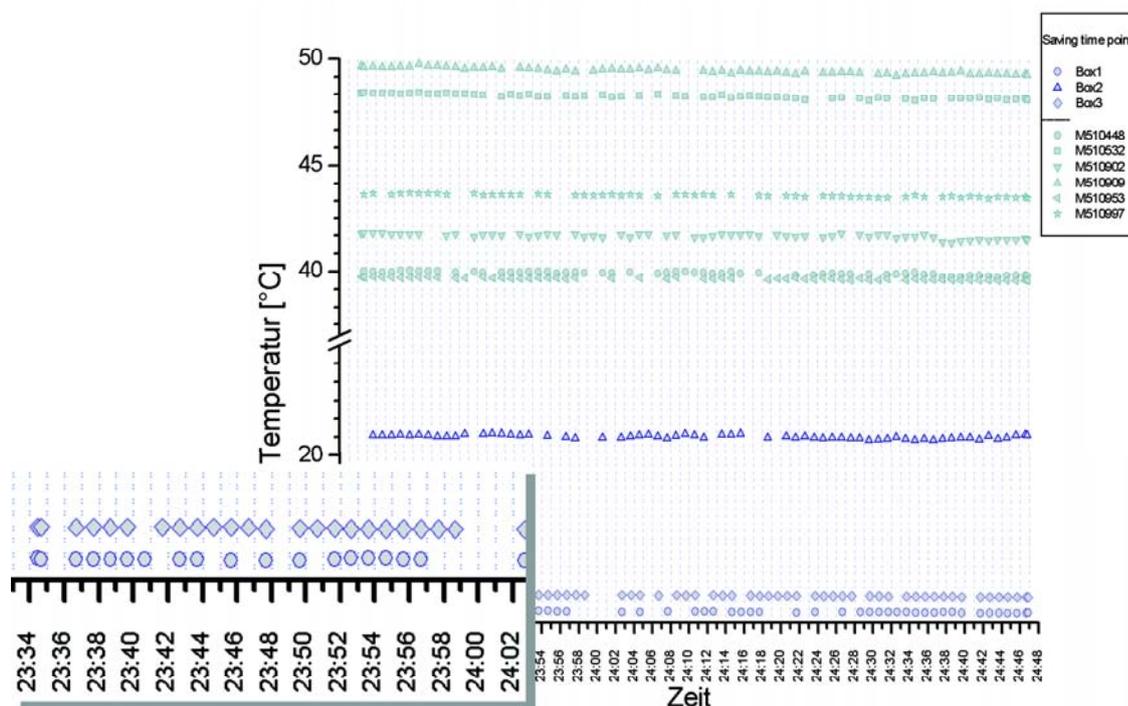


ABBILDUNG 6.13: Datenverlust im Temperaturverlauf der sechs am „Combined Test Beam“ betriebenen Detektormodule sowie der drei Temperatursensoren für einen ausgewählten Run

Weiterhin wurde bei der in Abschnitt 6.4.5 beschriebenen Extraktion der gespeicherten Werte festgestellt, dass es während des Speichervorgangs zeitweise zu Datenverlusten gekommen ist. So zeigt Abbildung 6.13 den zeitlichen Temperaturverlauf der sechs am „Combined Test Beam“ betriebenen Detektormodule zusammen mit der Temperaturentwicklung innerhalb der Haltestruktur für ein ausgewähltes Gültigkeitsintervall. Die vorliegenden Werte wurden mit dem im Rahmen dieser Arbeit modifizierten Speichermechanismus über den Zeitraum eines Runs kontinuierlich gesichert.

In der Ausschnittsvergrößerung ist zu sehen, dass es zwar richtigerweise minutiös zu einem Speichervorgang kommt, aber nicht alle Werte in der Datenbank hinterlegt werden. Dabei ist keine Regelmäßigkeit zu erkennen.

Eine Ursache für dieses Verhalten konnte, aufgrund der oben beschriebenen Schwierigkeiten, nicht gefunden werden. Mögliche Gründe wie eine zu hohe Netzlast oder Leistungsverlust durch eine insgesamt zu große Anzahl von Tabellen anderer Subdetektoren in der gemeinsamen Datenbank ließen sich nach Ende des „Combined Test Beams“ nicht mehr untersuchen.

Fehler in dem Backend-System des Pixel Detektorkontrollsystems können allerdings ausgeschlossen werden, da ein identisches PVSS II Projekt mit einer lokalen Conditions-Datenbank in Wuppertal im Langzeit-Test keine Datenverluste zeigte. Auch dessen Anbindung über Netzwerk an eine dezentrale Conditions-Datenbank zeigte diesbezüglich keinerlei Auffälligkeiten.

## 6.5 Zusammenfassung

Die von der Lissaboner TDAQ-Gruppe für den „Combined Test Beam“ entwickelte Schnittstelle 'CondDBMysql' arbeitete, trotz der im vorhergehenden Abschnitt 6.4.6 beschriebenen Ausfälle, über einige kurze Zeiträume stabil, wobei die Zuverlässigkeit gegen Ende der Teststrahlperiode zunahm. Das stand im Zusammenhang mit Erweiterungen und Steigerung des Leistungsvermögens in der Datenbankumgebung durch die Datenbank-Kollaboration.

Der in dieses PVSS II API integrierte Speichermechanismus 'Speichern bei Werteänderung' ist aus Sicht des Pixel Detektorkontrollsystems ein richtiger Ansatz, aber innerhalb eines größeren Pixel Backend-Systems nicht mehr ohne massive Erweiterungen und Zweckentfremdung anwendbar.

Auch stellt, beim Einsatz dieser Schnittstelle, die Beschneidung in der Anzahl der Tabellen wie auch in der Anzahl der verwendbaren Spalten durch die Datenbank-Kollaboration eine weitere Hürde dar. So ist es nicht mehr möglich, Daten gemäß der Struktur des Pixeldetektors zu gruppieren und gemeinsam zu speichern.

Bedingt durch die hohe Änderungsrate von Werten bei Gruppierung ergibt sich die Notwendigkeit der gesteuerten Unterdrückung von Werten. Diese kann ebenfalls innerhalb von PVSS II nicht ohne zusätzlichen enormen Aufwand betrieben werden. Hier werden, wie auch durch das zeitliche Kopieren von Werten, Leistungsverluste vermutet.

Auf Initiative der DCS-Experten einzelner Subdetektoren<sup>11)</sup> wurde zusammen mit den Entwicklern der Schnittstelle und der ATLAS DCS-Gruppe Anfang 2005 eine Diskussion bezüglich einer neuen Schnittstelle gestartet. Hierbei sind auch die Erfahrungen und Anmerkungen des Pixel Detektorkontrollsystems eingeflossen und berücksichtigt worden. Folgend sind die wichtigsten Forderungen aufgeführt:

- *Konfiguration der Tabelleneinträge*

Die bisherige Version der Schnittstelle war bezüglich der Datenpunktstrukturen sehr statisch. Nötig ist eine freie Gruppierung von Datenpunktelementen, ohne die vorhandene Datenpunktstruktur des Detektorkontrollsystems zu verändern und weitere Funktionalität, wie zum Beispiel zeitbasierte Kopiervorgänge, einzubringen.

---

<sup>11)</sup>Im Speziellen für den Pixeldetektor der Autor der vorliegenden Arbeit und der DCS-Experte des MDTs

- *Umgruppierung von Datenpunkten*

Mittels der Speichermöglichkeit 'Struktur mit ID' ließ sich ein ganzer Datenpunkt mit seinen zugehörigen Datenpunktelementen in einer Tabelle speichern. Basierend auf dieser Idee könnten Datenpunkte, die innerhalb des Backend-Systems alle eine identische Datenpunktstruktur besitzen, so umgruppiert werden, dass sie in einer 2-dimensionalen Tabelle untergebracht werden. Dabei erhält jede Gruppe eine eigene, eindeutige Kennnummer.

- *Speicher-Mechanismus*

Der Mechanismus 'Speichern bei Werteänderung' ist bei einzelnen Werten und bei großen Zeitspannen zwischen zwei aufeinander folgenden Änderungen anwendbar. Es muss die Möglichkeit des Glättens von Daten geschaffen werden, um die Datenrate zu minimieren. Zu implementieren ist sowohl ein Zeitfenster als auch ein Wertefenster, in denen die Werte bewusst nicht gespeichert werden.

Mit niedriger Priorität sind zu nennen:

- *Zurücklesen von Daten*

In dem Fall, dass alle im Detektorkontrollsystem anfallenden Daten in der Conditions-Datenbank gespeichert werden sollen, muss ein Zurücklesen einiger Daten in das Detektorkontrollsystem möglich sein. So wäre zum Beispiel ein historischer Verlauf einer Kenngröße für einen DCS-Experten nötig, um Fehler im System zu finden. Ferner ließen sich zuvor gespeicherte Konfigurationsdaten, die bei Gültigkeit zu Conditions-Daten geworden sind, im System für neue Konfigurationen wieder verwerten.

- *Notfall-Mechanismus*

Zu finden ist ein Mechanismus, der bei temporären Netzwerkausfällen die Conditions-Daten zunächst in den lokalen Archiven der einzelnen PVSS II Projekte zwischenspeichert und anschließend, bei erneuter Verbindung, in die Conditions-Datenbank überspielt.

Abschließend kann gesagt werden, dass die am „Combined Test Beam“ benutzte Version des PVSS II API-Manager 'CondDBMysql' der Lissaboner TDAQ-Gruppe nicht im Pixel Detektorkontrollsystem zu verwenden ist. Vielmehr muss der Blick auf eine vollkommen neue Entwicklung gerichtet werden.

## 6.6 Ausblick

Die ATLAS-Kollaboration benutzt inzwischen als Basis für ihre Conditions-Daten das LCG<sup>12)</sup> Conditions-Datenbank Produkt 'COOL' (COnditions Objects for LHC),

---

<sup>12)</sup>LHC Computing Grid Project (LCG)

womit als Speicherort neben CERN nun auch das weltweite Grid möglich ist.

Daher muss jede Information für eine spätere Rekonstruktion physikalischer Ereignisse in einer COOL Datenbank als Conditions-Datenbank hinterlegt werden, wodurch die Entwicklung einer neuen Schnittstelle zwischen einem Detektorkontrollsystem und einer COOL Datenbank nötig wurde.

Aufgrund von Abhängigkeiten in den verwendeten Plattformen sowie Compiler-Versionen der einzusetzenden Betriebssysteme (Windows und Linux) ist aber eine direkte Verbindung von PVSS II mit der Datenbankumgebung nicht möglich und blockierte eine Neuentwicklung über einen längeren Zeitraum. Vielmehr musste eine Instanz zwischengeschaltet werden. Diese fand sich in dem mittlerweile von ETM entwickelten Archiv, welches auf dem Datenbankverwaltungssystem Oracle der Firma Oracle basiert und damit von außerhalb zugänglich ist.

Die bereitgestellte Software der COOL Datenbanken bietet mehrere Möglichkeiten an, um Daten innerhalb der Datenbank zu organisieren. COOL hat ebenfalls eine IOV Datenbank (Interval Of Validity) implementiert. So können auch hier Daten in Ordnern mit übergeordneten Strukturen hinterlegt werden, wobei die Basis-Tabelle Spalten besitzt, um das Gültigkeitsintervall (IOV), die Kanalnummer der Information, einen Versions-Tag und die Daten selbst zu speichern. Die Daten können durch eine oder mehrere Spalten unterschiedlichen Formats (Integer, Float, String, ...) wie auch durch Referenzen auf anderen Speicherorten repräsentiert werden. Eine logische Gruppierung von Daten ist daher hier möglich.

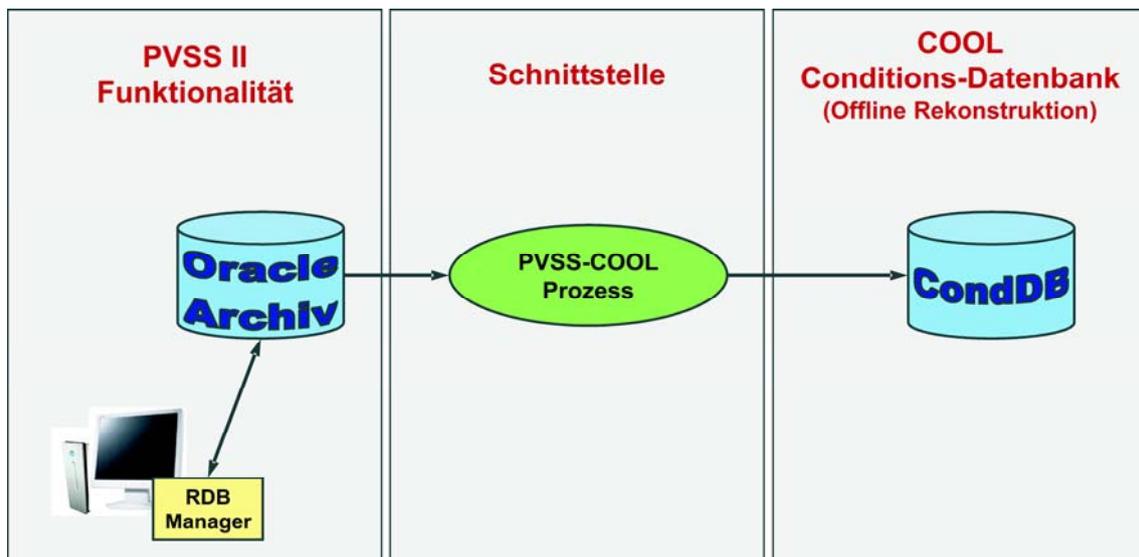


ABBILDUNG 6.14: Schematische Darstellung des Datenflusses von Conditions-Daten aus der Detektorkontrolle in eine COOL Conditions-Datenbank

Abbildung 6.14 zeigt schematisch den Datenfluss von Conditions-Daten aus der Detektorkontrolle in eine COOL Conditions-Datenbank. Zunächst werden über einen zusätzlichen PVSS II eigenen Manager, den RDB<sup>13)</sup>-Manager, alle Daten des Detektorkontrollsystems in einer externen Oracle Datenbank zwischengespeichert. Dieser Vorgang ersetzt den von den Vorgängerversionen benutzten Archivierungsprozess, bei dem die Daten in von außen nicht zugänglichen Dateien gespeichert wurden. Ein von der ATLAS DCS-Gruppe neu entwickelter PVSS-COOL Prozess kopiert die gewünschten Conditions-Daten in eine zugeordnete COOL Datenbank.

Durch die Verwendung des PVSS II eigenen Verfahrens bei der Zwischenspeicherung ist es möglich, die für die alte Archivierungsmethode nützlichen Funktionen nutzen zu können. So lassen sich Daten direkt werte- und/oder zeitbasierend glätten<sup>14)</sup>, bevor sie in die Oracle Datenbank geschrieben werden.

Weiterhin wird nun je ein Datenbank-Ordner mit einem Datenpunkttyp assoziiert. Dessen Datenpunktelemente können nicht nur komplett, sondern auch einzeln für den Transfer zur Conditions-Datenbank ausgewählt werden, wobei zusätzlich die Festlegung des ID (siehe Abschnitt 6.4.1) beliebig geschehen kann.

Ferner lässt sich durch die Zwischenspeicherung die Anzahl von separaten Transaktionen minimieren. So wird ein komplettes historisches Abbild in wohldefinierten Zeitabständen von der Oracle Datenbank in die Conditions-Datenbank überführt.

Durch die Verwendung von COOL Datenbanken für DCS Daten ist eine Anbindung an den Software-Verbund 'Athena' der Offline-Software bereits gegeben. Es existieren Athena Algorithmen, die speziell auf die von dieser Schnittstelle erzeugte Datenbankstruktur abgestimmt sind und über vom Benutzer frei konfigurierbare Skripte abgerufen beziehungsweise schon in Rekonstruktionen benutzt werden können.

Durch die Verwendung dieser neuen Schnittstelle zwischen einem Detektorkontrollsystem und einer auf COOL Technologie basierten Conditions-Datenbank werden viele Forderungen der Subdetektoren abgedeckt, einige werden mit neuen Versionen abgegolten. Der PVSS-COOL Prozess ist im Status eines Prototyps und daher zur Zeit lediglich mit Beschränkungen einsetzbar (siehe [54]). Es sollte aber mit der momentanen Neuausrichtung und der Änderung der Datenpunktstruktur des Pixel Detektorkontrollsystems so bald als möglich ebenso mit der Integration dieser Schnittstelle begonnen werden, da viele Einstellungen mittels Datenpunktkonfigurationen vorgenommen werden und somit rechtzeitig berücksichtigt werden müssen.

---

<sup>13)</sup>engl.: **R**elational **D**ata**B**ase (RDB)

<sup>14)</sup>Mit Glättung ist in diesem Zusammenhang die Unterdrückung von Werten und nicht Mittelwertbildung oder Interpolation gemeint.

# Kapitel 7

## Analyse am „Combined Test Beam“

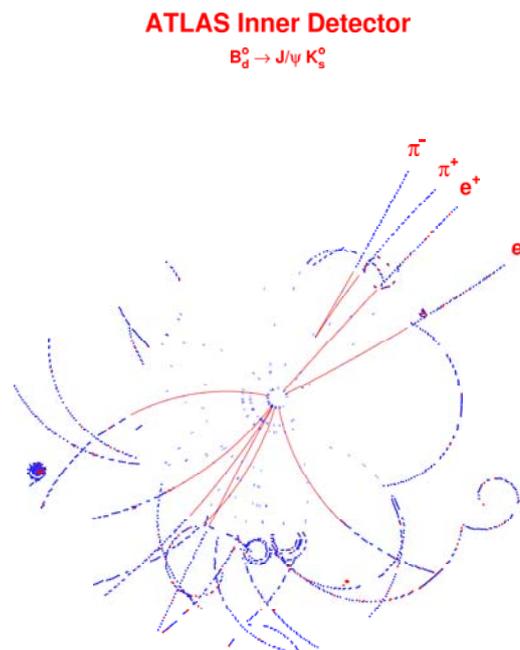


ABBILDUNG 7.1: Grafische Darstellung eines simulierten  $B_d^0 \rightarrow J/\psi K_s^0$  Zerfall im Inneren Detektor des ATLAS-Experiments bei niedriger Luminosität [12]. Zu erkennen ist der V-förmige Zerfall des  $K_s^0$ -Mesons in zwei geladene Pionen.

Das Auffinden von langlebigen Teilchen im Detektor, zu denen das  $K_s^0$ -Meson zählt, ist ein wesentlicher Bestandteil der Untersuchung von exklusiven B-Meson-Zerfallskanälen. Eine effiziente Rekonstruktion von  $K_s^0$ -Mesonen verspricht eine Erhöhung der Statistik, die für eine Extraktion der Größe  $\sin 2\beta$  aus dem Zerfall  $B_d^0 \rightarrow J/\psi K_s^0$  nötig ist (Untersuchung der CP-Verletzung).

Nach der Entdeckung des ersten 'V-Teilchens' 1947 durch G. D. Rochester und C. C. Butler in Nebelkammeraufnahmen (heute als  $K^0$ -Meson bekannt), wurden fünf Jahre später die Spuren von  $\Lambda$ -Zerfällen in der kosmischen Strahlung gefunden. Die Spuren, die die Zerfallsprodukte im Detektor hinterlassen (vergleiche Abbildung 7.1), gleichen einem 'V', wodurch die 'V-Teilchen' ihren charakteristischen Namen erhielten.

$V^0$ -Teilchen selbst können aufgrund ihrer neutralen elektrischen Ladung nicht nachgewiesen werden, zu ihnen zählen unter anderem das  $K^0$ -Meson, das  $\Lambda$ - und das  $\bar{\Lambda}$ -Hyperon.

Da sie mittels der starken Kraft erzeugt werden, aber über die schwache Wechselwirkung zerfallen, wurden sie als seltsame Teilchen bezeichnet. Darüber hinaus besitzen sie eine lange Lebensdauer von  $10^{-10}$  s.

M. Gell und K. Nishijima erklärten den zugehörigen Mechanismus im Jahr 1952, indem sie eine neue Erhaltungsgröße, die Seltsamkeit, einführten, die sich nur auf die starke Kraft bezog. Der Zerfall von seltsamen Teilchen in nicht-seltsame kann somit nicht über die starke Wechselwirkung erfolgen, da die Seltsamkeit sonst verletzt würde. Solche Zerfälle erfolgen über die schwache Kraft, die diese Beschreibung nicht kennt und dafür den Teilchen die lange Lebensdauer beschert [55].

Die vorliegende Analyse beschäftigt sich im Schwerpunkt mit der Rekonstruktion des Zerfalls  $K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ . Der dazu generierte Datensatz basiert auf der Simulation des Experimentieraufbaus des „Combined Test Beams“.

## 7.1 Aufbau des „Combined Test Beams“

Im Jahr 2004 (17. Mai - 15. November) wurde ein Sektor des Zentralbereiches aller Detektorkomponenten, bestehend aus den Inneren Spurdetektoren, den Kalorimetern und dem Myon-Spektrometer, an der H8-Strahllinie am CERN-SPS aufgebaut und gemeinsam betrieben. Dieser „Combined Test Beam“ fand statt, um Erfahrungen für den Betrieb des ATLAS-Experimentes zu sammeln und Werkzeuge für die Analyse physikalischer Ereignisse zu entwickeln.

### 7.1.1 Referenzsystem am „Combined Test Beam“

Das ATLAS „Combined Test Beam“ Referenzsystem ist in der Art definiert, dass es möglichst konsistent mit dem des späteren ATLAS Referenzsystemes ist. Der Experimentieraufbau wurde so angeordnet, dass die Strahlachse am „Combined Test Beam“ einer Pseudorapidität von  $|\eta| = 0$  des ATLAS-Detektors entsprach.

Das kartesische Koordinatensystem  $(x, y, z)$  ist wie folgt gegeben [56]:

- x-Achse: entlang der H8-Strahllinie

- y-Achse: vertikal in Richtung Himmel
- z-Achse: horizontal in Richtung Saleve-Seite der Halle
- Als Ursprung der Achsen, ( $x = y = z = 0$ ), wurde die Vorderseite des Magneten des Inneren Detektors gewählt.

Der Innere Detektor besteht, gemäß Abschnitt 2.3.3 aus drei Subdetektoren, dem Pixeldetektor, dem Streifendetektor (SCT) und dem Übergangsstrahlungsdetektor (TRT). Anfang Oktober 2004, in der Spätphase des „Combined Test Beams“, wurden alle drei Subdetektoren zum ersten Mal gemeinsam betrieben. Dabei befanden sich der Pixeldetektor und der SCT innerhalb eines Magneten, der TRT, aufgrund seiner Größe, außerhalb.

### 7.1.2 Der Pixeldetektor

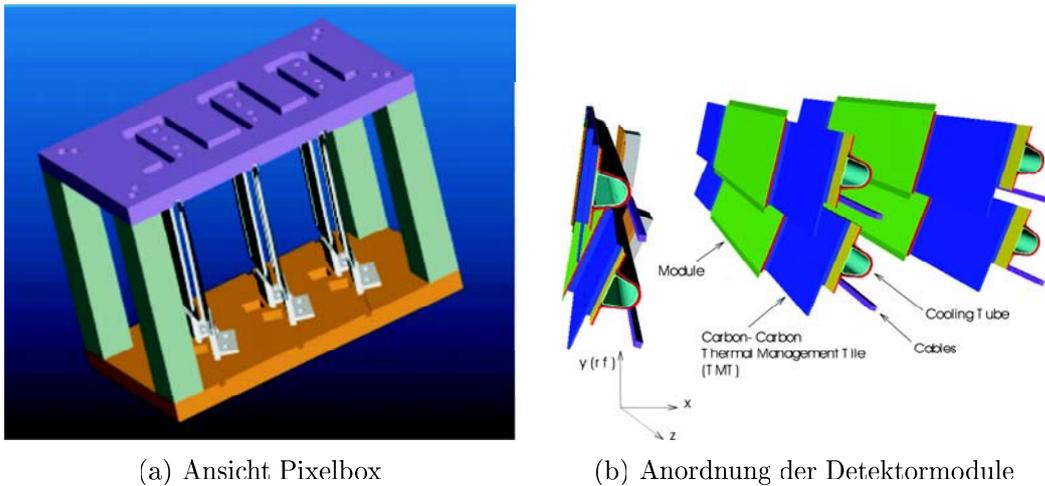


ABBILDUNG 7.2: Aufbau des Pixeldetektors am „Combined Test Beam“ [56]

Der Pixeldetektor war, gemäß Abbildung 7.2, als Box mit den Maßen  $\Delta x = 175$  mm,  $\Delta y = 250$  mm und  $\Delta z = 180$  mm definiert. Die Box beinhaltete sechs Detektormodule, welche in der später vorgesehenen ATLAS Geometrie angeordnet waren. Es befanden sich je zwei Detektormodule mit einem Abstand zur Außenkante der Pixelbox von 55,5 mm in B\_Layer Position sowie von 88,5 mm in Layer\_1 und von 122,5 mm in Layer\_2 Position.

Jedes Detektormodul war um  $20^\circ$  zur Strahllinie gedreht, wobei sich die beiden Module des Layer\_1 wie auch die Module des Layer\_2 um  $\sim 0,2$  mm überlappten.

### 7.1.3 Der Streifendetektor

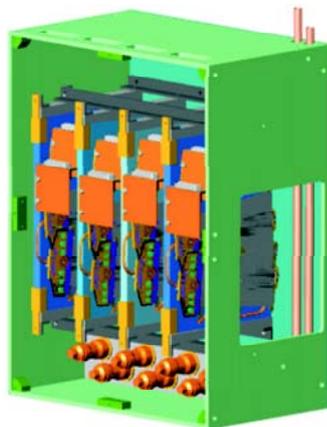


ABBILDUNG 7.3: Aufbau des SCT Detektors am „Combined Test Beam“ [56]

Das Volumen des Streifendetektors (SCT) wurde durch eine Box mit den Maßen  $\Delta x = 330$  mm,  $\Delta y = 300$  mm und  $\Delta z = 200$  mm dargestellt (vergleiche Abbildung 7.3). Der SCT Aufbau bestand aus vier Lagen mit je zwei Modulen pro Lage, wobei sich die beiden Module einer Lage um 4 mm überlagerten<sup>1)</sup>. Der Aufbau deckte eine Fläche von  $z \cdot y = 120 \cdot 120$  mm<sup>2</sup> ab.

Die Module der zweiten und dritten Lage waren vertikal zur Strahllinie zentriert, wohingegen die der ersten und vierten Lage in  $y$ -Richtung um  $-5$  mm beziehungsweise um  $+5$  mm verschoben waren.

### 7.1.4 Der Übergangsstrahlungsdetektor

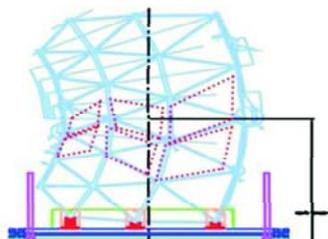


ABBILDUNG 7.4: Aufbau des TRT Detektors am „Combined Test Beam“ [56]

Der Aufbau des Übergangsstrahlungsdetektors (TRT) bestand aus zwei Zentralbereich-Keilen. Dabei wurde die für das spätere ATLAS-Experiment vor-

<sup>1)</sup>Zu bemerken ist, dass die Vorderseite des tiefer gelegenen Moduls der dritten SCT Lage nicht funktionstüchtig war.

gesehene 3-Lagen-Struktur verwendet. Jeder dieser Keile repräsentierte  $1/16$  des Kreisumfangs eines Zylinders mit einem Innenradius von 558 mm und einem Außenradius von 1080 mm bei einer Länge von  $\Delta z = 1425,5$  mm. Der Mittelpunkt beider Keile lag bei  $x = 1152$  mm und  $z = 550$  mm, wobei die  $y$ -Position mit der Zeit variiert wurde. Durch die Größe des TRT-Detektors wurde dieser außerhalb des Magneten betrieben. Anzumerken ist, dass die Distanz zwischen der letzten SCT-Lage und der ersten TRT-Platte 40 mm im ATLAS-Experiment beträgt, im Aufbau zum „Combined Test Beam“ betrug diese bedingt durch die Geometrie vor Ort  $\sim 1114$  mm.

### 7.1.5 Innerer Detektor

Während des gemeinsamen Betriebes des Inneren Detektors wurden zum Studium unterschiedlicher physikalischer Prozesse verschiedene Materialien wie Aluminium, Kupfer oder Wolfram, zum Teil von unterschiedlicher Dicke, in das Volumen des Detektors eingebracht. Zum Beispiel ließ sich als so genanntes Fix-Target ein Satz aus fünf Wolfram-Drähten, welche vor der Pixelbox montiert waren, verwenden, um Untersuchungen zu Spur- und Vertex-Auflösungen durchzuführen.

Die Drähte besaßen eine Länge von 85 mm sowie einen Durchmesser von  $50 \mu\text{m}$  und waren 5 mm von der Außenkante der Pixelbox entfernt. Ihre transversale Position lag bei  $z = 0$  mm, während ihre vertikalen Positionen mit  $y = 0$  mm,  $y = \pm 1$  mm und  $y = \pm 2$  mm anzugeben sind. Die Ausrichtung der Drähte konnte mit einem Fehler von  $\pm 20 \mu\text{m}$  genau bestimmt werden [57].

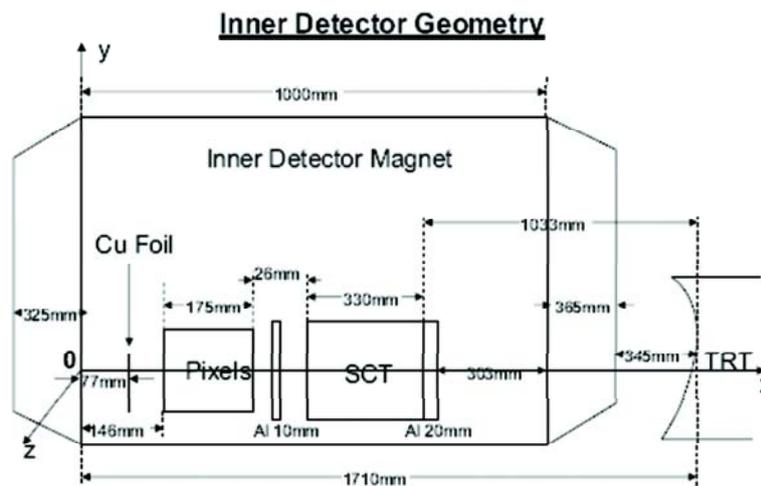


ABBILDUNG 7.5: Aufbau des Inneren Detektors zusammen mit dem Magneten. Eingezeichnet ist das Referenz-Koordinatensystem des „Combined Test Beams“ [56]

Abbildung 7.5 zeigt die Hauptkomponenten des Inneren Detektors und deren Positionen im gemeinsamen Aufbau. Zusätzlich ist das am „Combined Test Beam“ verwendete Referenz-Koordinatensystem mit eingezeichnet. Während des gemeinsamen Betriebes der drei Subdetektoren als Innere Detektoren wurden eine Reihe von unterschiedlichen Konfigurationen benutzt, die zum Beispiel das zusätzlich eingebrachte Material berücksichtigen.

Die dieser Arbeit zugrunde liegende Konfiguration wird offiziell mit 'InnerDetector-CTB-04' bezeichnet und ist gekennzeichnet durch:

- Pixel-CTB-03 ( $x = 146 \text{ mm}, y = 0 \text{ mm}, z = 8 \text{ mm}$ ), keine Rotation der Pixelbox
- SCT-CTB-03 ( $x = 512 \text{ mm}, y = 0 \text{ mm}, z = -9 \text{ mm}$ ), keine Rotation der SCT-Box
- TRT-CTB-03 ( $x = 1152 \text{ mm}, y = -8 \text{ mm}, z = 550 \text{ mm}$ ), Rotation um die z-Achse mit  $-0,205 \text{ rad}$

Abbildung 7.6 zeigt den gemeinsamen Aufbau aller Subdetektoren des ATLAS-Experimentes am „Combined Test Beam“. Die Komponenten des Kalorimetersystems befanden sich auf einem dreh- und fahrbaren Tisch bei der Position  $x = 6206 \text{ mm}$ . Der minimale Abstand zum TRT betrug  $x = 1063 \text{ mm}$ . Der Aufbau des Myon-Spektrometers begann bei  $12587 \text{ mm}$ . Für weiterführende Informationen siehe [56].

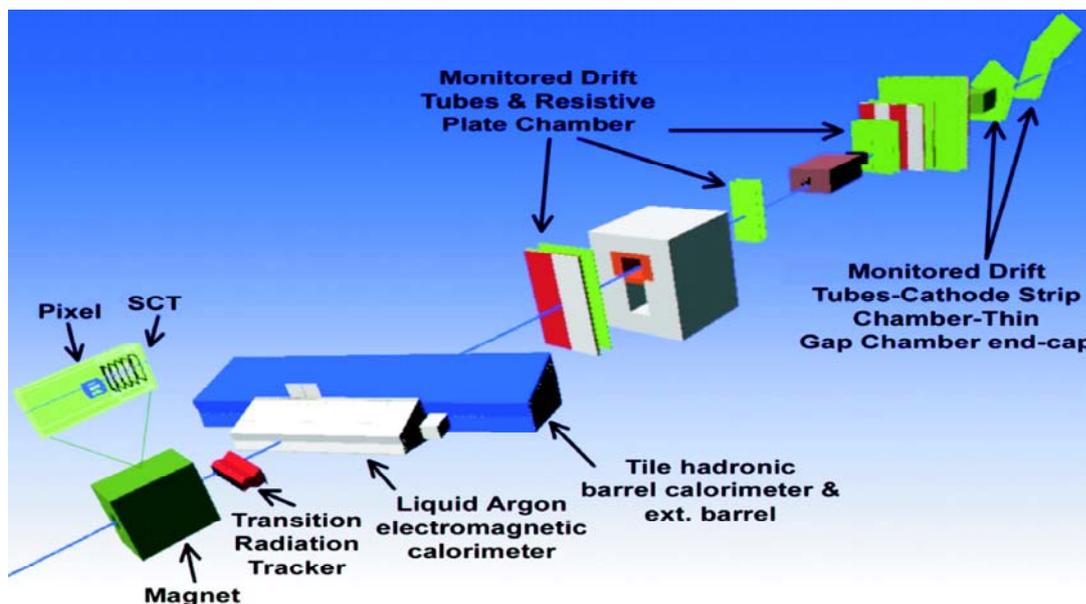


ABBILDUNG 7.6: Aufbau des „Combined Test Beams“ [56]

## 7.2 Offline Software

### 7.2.1 Athena Framework

Zielsetzung der ATLAS Offline Software ist es, die physikalischen Ereignisse, die gemeinsam vom ATLAS Trigger und vom Datennahmesystem bereitgestellt werden, weiter zu verarbeiten und die erzielten Ergebnisse der ATLAS Collaboration zur Verfügung zu stellen. Ferner muss sie Werkzeuge anbieten, die es Physikern ermöglicht, die gewonnenen Informationen zu analysieren und daraus physikalische Erkenntnisse zu ziehen.

Das ATLAS-Experiment benutzt einen objektorientierten Software-Verbund, der hauptsächlich auf der Programmiersprache C++ basiert, aber auch Komponenten enthält, die auf FORTRAN und Java gründen. Es handelt sich dabei um eine erweiterte Version des für das LHCb-Experiment entwickelten 'Gaudi Frameworks' und wird ihrerseits mit 'Athena Framework' bezeichnet.

Insgesamt über 50 externe und über 1 000 ATLAS-spezifische Software-Pakete werden dem Benutzer angeboten. Analysen sind ausführbar durch Programme, die ihre volle Funktionalität durch zusätzliche Python-Skripte, die JobOption-Files, erreichen. JobOption-Files konfigurieren dabei für die gewünschte Analyse individuell die mit den Paketen bereitgestellten Algorithmen, Werkzeuge und Dienste des Athena Frameworks. Darüber hinaus lassen sich die Komponenten sämtlicher Pakete bei Bedarf in der eigenen Arbeitsumgebung verändern.

Eine komplette, simulierte physikalische Analyse umschließt das Generieren von Teilchen und deren Zerfälle nach physikalischen Gesetzen, die Simulation der Teilchendurchgänge durch den Detektor basierend auf der Detektorgeometrie, die Digitalisierung der gewonnenen Daten, die Rekonstruktion der Teilcheninformationen und die Interpretation der Ergebnisse.

### 7.2.2 Simulation und Digitalisierung

Abbildung 7.7 stellt eine vereinfachte Ansicht der einzelnen Verarbeitungsschritte der Simulation im Athena Framework dar. Als Eingabe für die Simulation wird die Ausgabe der Monte-Carlo-Generatoren nach einer eventuellen Filterung nach Teilchenart benutzt. Die Datenobjekte beinhalten die Monte-Carlo-Truth Informationen, welche von den Simulationsalgorithmen gelesen und weiterverarbeitet werden. Simulierte Treffer im Detektor werden direkt von Digitalisierungsalgorithmen aufbereitet und in 'Raw Data Objects (RDOs)' umgewandelt. Alternativ können die Treffer zusätzlich einem Pile-Up Prozess (Hinzunahme der Informationen im Detektor von Zerfallsprodukten aus vorangegangenen Ereignissen) unterzogen werden. RDOs gleichen den echten Detektordaten und dienen der Rekonstruktion als Eingangsinformationen.

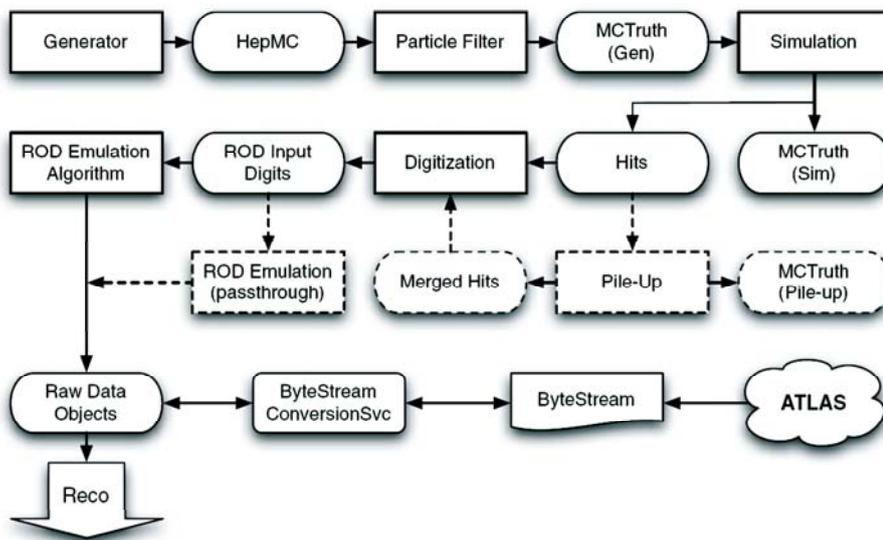


ABBILDUNG 7.7: Datenfluss im Simulationsprozess. Weiterführende Informationen finden sich unter [58]

### 7.2.3 Rekonstruktion

Die Aufgabe der Rekonstruktion ist es, die relativ wenigen Teilchenparameter und weitere für eine physikalische Analyse benötigte Informationen aus den Daten herzustellen. Ein typischer Rekonstruktionsalgorithmus übernimmt eine Sammlung von Eingangsinformationen, ruft nach einem Baukastenprinzip unterschiedliche Werkzeuge auf und stellt sein Ergebnis als eine Sammlung rekonstruierter Objekte zur Verfügung. Bezüglich des ATLAS-Experiments werden von den Spurdetektoren und Kalorimetern allgemeine Werkzeuge gemeinsam benutzt. Im Athena Framework wird eine große Anzahl unterschiedlicher Algorithmen angeboten.

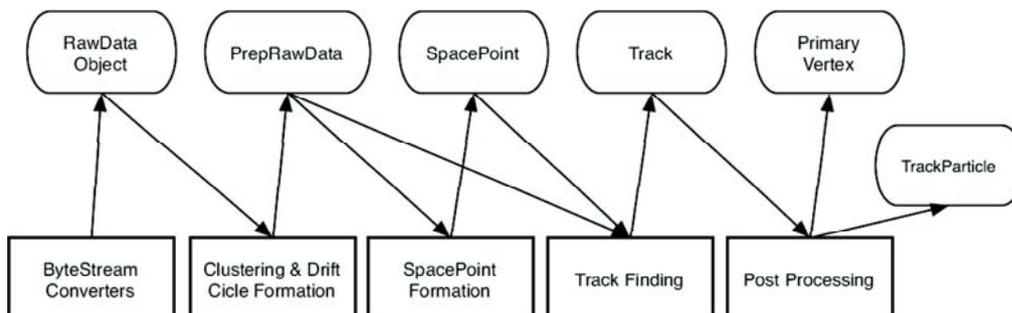


ABBILDUNG 7.8: Ablauf der Spur-Rekonstruktion: Die oberen Kästen stellen die Datenobjekte, die unteren die einzelnen Algorithmen dar [58].

Abbildung 7.8 zeigt den Ablauf einer Spur-Rekonstruktion. Zunächst wandeln ByteStream-Konverter die echten Detektordaten in Raw Data Objects (RDOs) um. Aus den vorliegenden Daten (echte oder simulierte) werden 'Prepared Raw Data (PrepRawData)' gebildet, wie zum Beispiel Cluster im Pixeldetektor oder Drift-Circles in den Monitored Drift Tubes (MDTs) des Myon-Spektrometers. Zusammen mit Informationen über Raumpunkte können anschließend Teilchenspuren gefunden werden. Zum Schluss werden diese Spuren dazu benutzt, Vertices und Kenngrößen der Teilchen zu bestimmen.

## 7.3 Analyse

### 7.3.1 Simulation

Der in dieser Arbeit verwendete Monte-Carlo-Generator war HIJING<sup>2)</sup>. HIJING wird hauptsächlich eingesetzt, um Multi-Jets und die dazugehörigen Teilchen aus Proton-Proton-, Proton-Nukleon- und Nukleon-Nukleon-Kollisionen zu studieren [59]. Dieser Generator konnte aber auch benutzt werden, um den Experimentieraufbau am „Combined Test Beam“ zu berücksichtigen. Es wurde als Projektil ein Teilchenstrahl aus positiv geladenen Pionen ( $\pi^+$ ) mit einer Energie von 100 GeV gewählt. Als Target wurden Wolfram-Atome festgelegt, um den mittleren der fünf Wolfram-Drähte des Aufbaus zu berücksichtigen (siehe Abschnitt 7.1.5).

Generiert wurden 500 000 Ereignisse, wobei nur die Ereignisse an die Simulation weitergegeben wurden, die ein  $K_s^0$ -Meson als Reaktionsprodukt enthielten.

Für die Detektorsimulation wurde das Athena Framework Paket 'CTB\_G4Sim' gewählt. Dabei handelt es sich um eine Sammlung von Werkzeugen, um die auf GEANT4<sup>3)</sup> basierte Simulation des „Combined Test Beams“ individuellen Ansprüchen anzupassen und durchzuführen. Die Simulation wurde so umgesetzt, dass außer dem Inneren Detektor alle anderen Subdetektoren ausgeschaltet waren. Die dabei zugrunde liegende geometrische Detektorkonfiguration 'InnerDetector-CTB-04' wurde in Abschnitt 7.1.5 vorgestellt.

### 7.3.2 V0-Finder und Rekonstruktion

Zwei grundsätzliche Probleme können bei der Rekonstruktion von  $K_s^0$ -Mesonen auftreten [60]:

- Das erwartete Spektrum des transversalen Impulses der  $K_s^0$ -Mesonen ist sehr weich, im Mittel 6 GeV [60], wenn diese aus einem  $B^0$ -Zerfall stammen. Da-

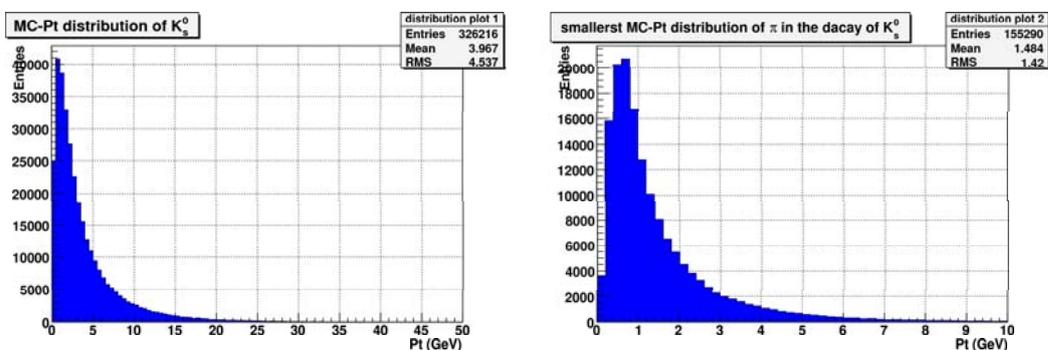
---

<sup>2)</sup>engl.: Heavy Ion Jet INteraction Generator (HIJING)

<sup>3)</sup>GEANT4 ist eine allgemeine Softwareumgebung, die den Durchgang von Teilchen durch Materie simuliert. Es kann eine beliebige Geometrie vorgegeben werden.

her tendieren die Zerfallsprodukte zu einem niedrigen transversalen Impuls bis zu einem Wert von  $p_T \sim 0,5$  GeV. In diesem unteren Bereich werden die Algorithmen zur Bestimmung der Spuren der Zerfallsprodukte ineffizient.

- Für  $K_s^0$ -Mesonen mit großem Boost tritt der Zerfall erst im Volumen des Inneren Detektors auf, wodurch die Gesamtanzahl der registrierten Treffer im Detektor abnimmt. Weiterhin besitzen die Spuren solcher Zerfälle große Impaktparameter, wenn diese zum primären Vertex extrapoliert werden. Da die entwickelten Algorithmen darauf abgestimmt sind, Spuren sehr nah am primären Vertex zu finden, kann dies in der Rekonstruktion zusätzlich zu Problemen führen.



(a) Spektrum des transversalen Impulses des MC-generierten  $K_s^0$ -Mesons (b) Spektrum des jeweils kleinsten transversalen Impulses eines der Zerfalls-Pionen

ABBILDUNG 7.9: *Spektrum des transversalen Impulses des MC-generierten  $K_s^0$ -Mesons wie auch des kleinsten transversalen Impulses eines der Zerfalls-Pions*

Abbildung 7.9(a) zeigt das Spektrum des transversalen Impulses der  $K_s^0$ -Mesonen, die im Rahmen dieser Arbeit generiert worden sind. Zu sehen ist, dass der Mittelwert des hier verwendeten Datensatzes  $\sim 4$  GeV beträgt. Ferner ist das Spektrum des jeweils kleinsten transversalen Impulses eines der Zerfalls-Pionen gezeigt (siehe Abbildung 7.9(b)). Hier ist deutlich die Tendenz zu kleinen Werten festzustellen. Daher kann im Verlauf der Analyse mit Effizienzverlusten gerechnet werden.

Zur Rekonstruktion wurden die Pakete 'InDetRecTBExample' und 'InDetV0Finder' unter der Version 11.0.4 des Athena Frameworks eingesetzt und individuell angepasst. Letzteres Paket ist für die Suche nach  $V^0$ -Teilchen im ATLAS Experiment vorgesehen und befindet sich seit Dezember 2005 in der Entwicklungsphase. Daher ist es zur Zeit in der Offline Software nicht als offizielles Paket integriert.

Abbildung 7.10 zeigt einen im Rahmen dieser Arbeit rekonstruierten  $K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$  Zerfall unter Verwendung des Analyseprogramms ATLANTIS. Dargestellt sind die rekonstruierten wie auch die MC-generierten Spuren der Pionen.

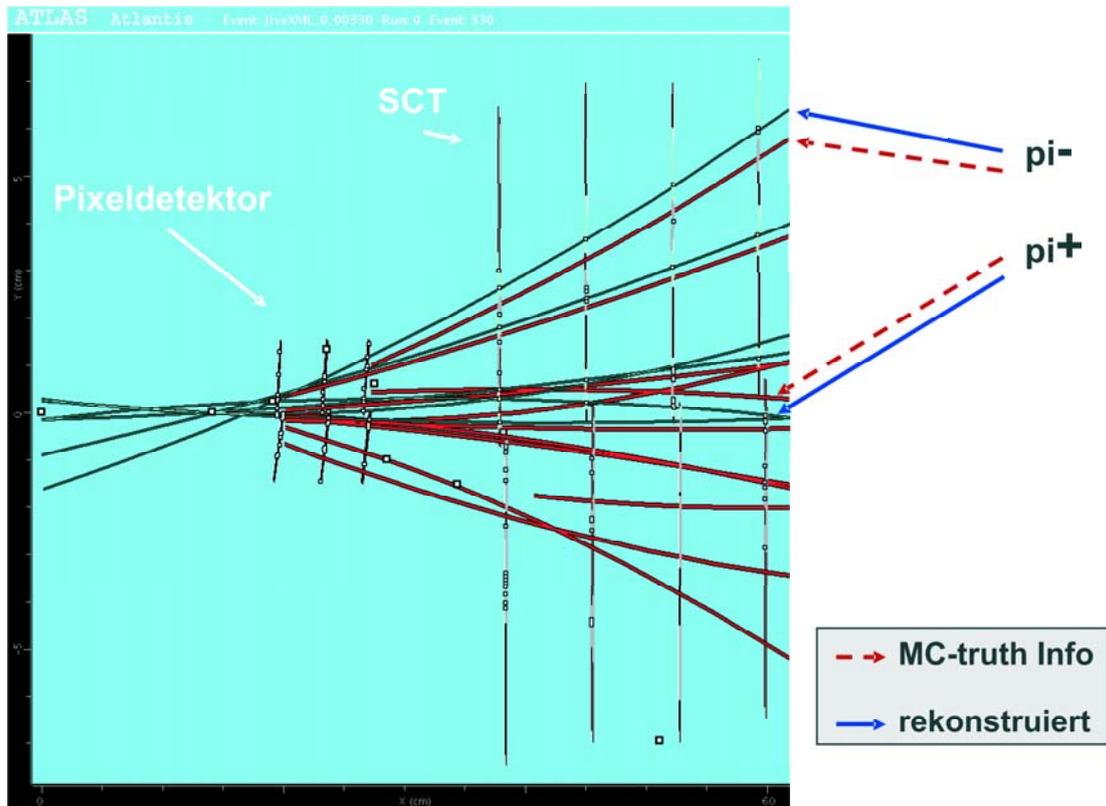


ABBILDUNG 7.10: Ansicht der rekonstruierten Spuren (zum Vergleich mit MC-Spuren) eines  $K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$  Zerfalls mit dem Analyseprogramm ATLANTIS

### Schnitte des V0-Suchalgorithmus

Der V0-Suchalgorithmus benutzt geladene Teilchenspuren, die durch den Kalman-Fitter<sup>4)</sup> bis zu einer unteren Grenze von  $p_T = 0,5 \text{ GeV}$  rekonstruiert werden.

Erste  $K_s^0$  Kandidaten werden gewonnen, indem Paare entgegengesetzt geladener Spuren mit der Billoir-Fit-Methode zu einem gemeinsamen Vertex extrapoliert und Paare mit einer Fit-Qualität bezüglich des Vertex von  $\chi^2/\text{DoF} \leq 6$  beibehalten wurden. Um den kombinatorischen Untergrund weiter zu reduzieren, wurde gefordert, dass der minimale Abstand zwischen Wechselwirkungspunkt (Wolfram-Draht) und Zerfallsvertex mehr als 10 mm betrug. Studien in [60, 62] nahmen als weiteren Schnitt

<sup>4)</sup>Der Kalman-Fitter für den Inneren Detektor passt Spuren an die entsprechenden Treffer im Pixeldetektor, SCT und TRT an. Dabei benutzt dieser die 2-dimensionale Ortsinformation der Pixel- und SCT-Cluster und die 1-dimensionale Ortsinformation der TRT Treffer. Weiterführende Informationen finden sich unter [61].

ein Massefenster von  $3\sigma$  beziehungsweise von 20 MeV um die nominale Masse des  $K_s^0$ -Mesons von  $497,648 \pm 0,022$  MeV [1] an. Ferner wurde dort in Bezug auf die Geometrie des ATLAS-Experimentes auf einen Zerfallsbereich von  $|z| \leq 210$  cm (hier bedeutet  $z$  die Vertex-Koordinate entlang der Strahlachse) geschnitten.

In der vorliegenden Analyse wurden die oben angeführten Schnitte im verwendeten V0-Suchalgorithmus entfernt und in die Bearbeitung der rekonstruierten Daten mit der Analysesoftware ROOT wieder integriert. Es zeigte sich durch Vergleich, dass der Schnitt auf die Fit-Qualität bezüglich des Vertex durch den technisch einfacher anwendbaren Schnitt auf die Fit-Wahrscheinlichkeit ersetzt werden konnte. Abbildung 7.11 zeigt die Verteilung der Fit-Wahrscheinlichkeit nach Fit mit der Billoir-Methode für alle Spurkombinationen mit und ohne Flag auf ein MC-truth  $K_s^0$ -Meson. Deutlich ist zu erkennen, dass durch einen geschickten Schnitt eine Vielzahl von falschen Kombinationen entfernt werden können. Ferner wurde eine abschließende Zuordnung zwischen den rekonstruierten und den MC-truth  $K_s^0$ -Mesonen in einem Ereignis vollzogen. Tabelle 7.1 gibt die in Rahmen dieser Arbeit angewandten Schnitte an.

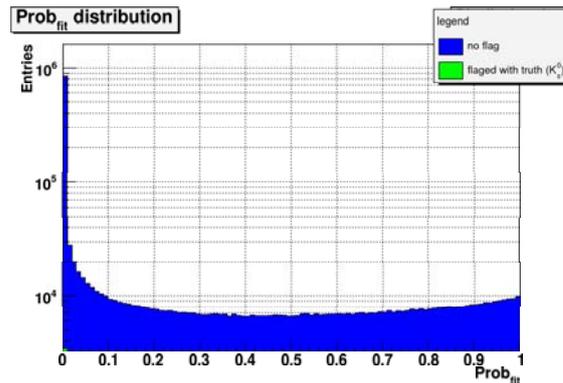


ABBILDUNG 7.11: Verteilung der Fit-Wahrscheinlichkeit nach Fit mit der Billoir-Methode mit und ohne Flag auf ein MC-truth  $K_s^0$ -Meson

Variable	Schnitt
Spuren	entgegengesetzt geladen
Fit-Wahrscheinlichkeit	$\geq 0,01$
Vertex Position	$10 \text{ mm} \leq R(K_s^0)$
Übereinstimmung	MC-truth $K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ Zerfall im Ereignis und $K_s^0$ -Meson rekonstruiert

TABELLE 7.1: Selektionsschnitte für die Rekonstruktion von  $K_s^0$ -Mesonen

### 7.3.3 Ergebnisse

#### Masse

Abbildung 7.12 zeigt die rekonstruierte invariante Masse des  $K_s^0$ -Meson über den Zerfall  $K_s^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ . Veranschaulicht ist die Wirkung der einzelnen Selektionsschnitte aus Tabelle 7.1.

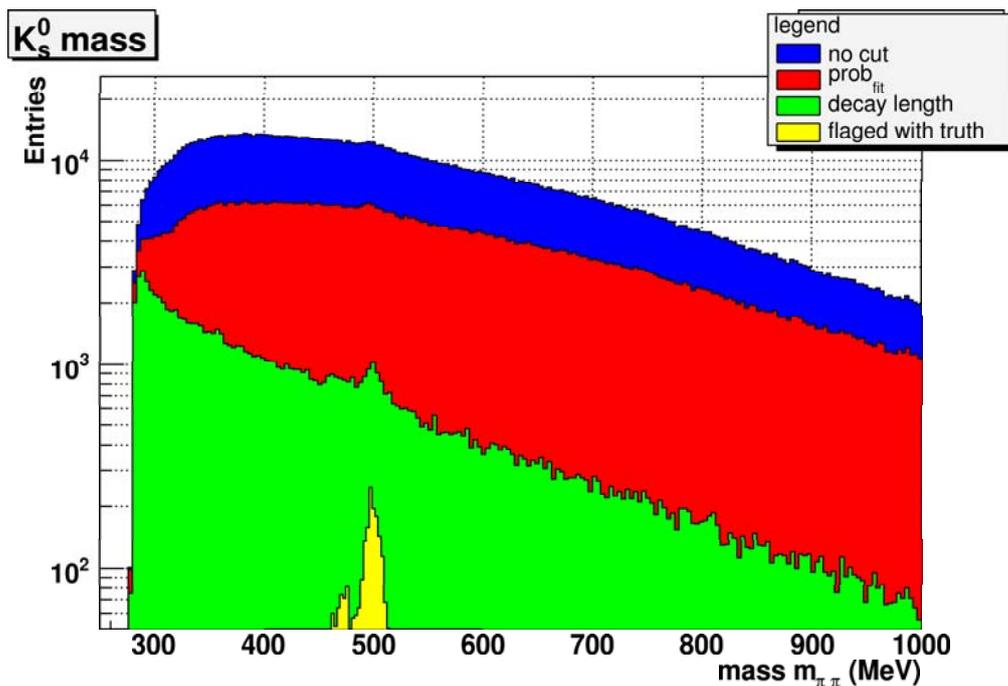


ABBILDUNG 7.12: Auswirkung der Selektionsschnitte auf die Rekonstruktion der Masse des  $K_s^0$ -Mesons  
Zu sehen ist ferner ein weiterer Peak in der Massenverteilung, der später mit einer Abhängigkeit vom transversalen Impuls erklärt wird.

Eine Darstellung der rekonstruierten invarianten Masse ergibt Abbildung 7.13. Es zeigt sich zunächst eine leicht verschobene Gauß-gefittete Masse von  $(498,8 \pm 0,2)$  MeV im Vergleich zum Literaturwert von  $497,648 \pm 0,022$  MeV [1].

Diese Verschiebung wird auch im Wert  $(1,031 \pm 0,255)$  MeV in Abbildung 7.14 bestätigt. Zu sehen ist dort die Differenz zwischen der rekonstruierten Masse und der MC-generierten Masse. Die dabei erreichte Massenauflösung kann mit  $(8,847 \pm 0,262)$  MeV festgelegt werden. Vergleiche mit [60, 62], in denen eine Massenauflösung von  $4,5 - 7$  MeV als Funktion des Zerfallsradius erreicht wird, konnten aufgrund der hier vorliegenden niedrigen Statistik nicht angemessen durchgeführt werden.

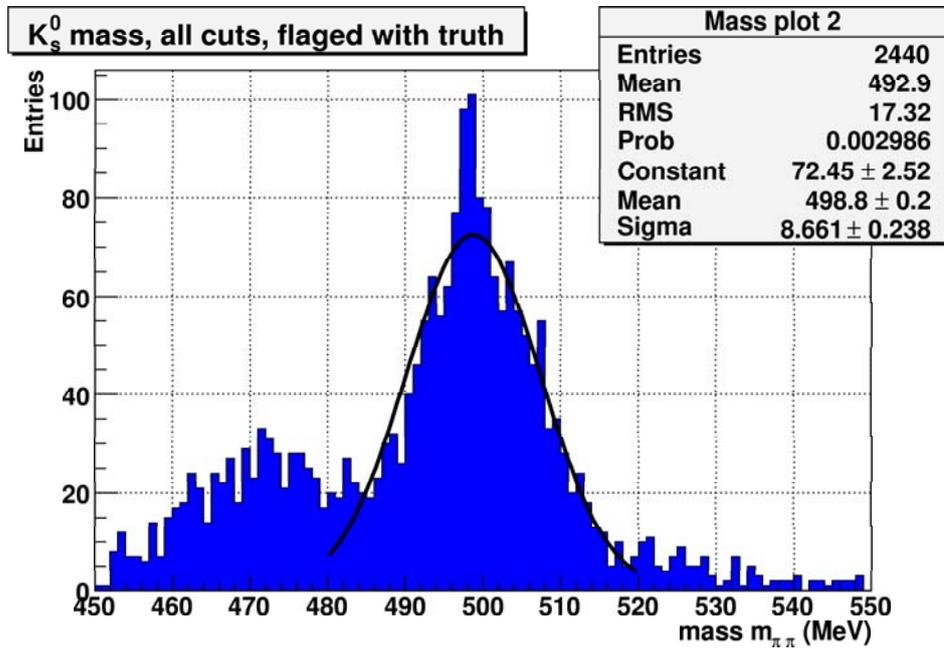


ABBILDUNG 7.13: Rekonstruierte Masse des  $K_s^0$ -Mesons über den Zerfall  $K_s^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$

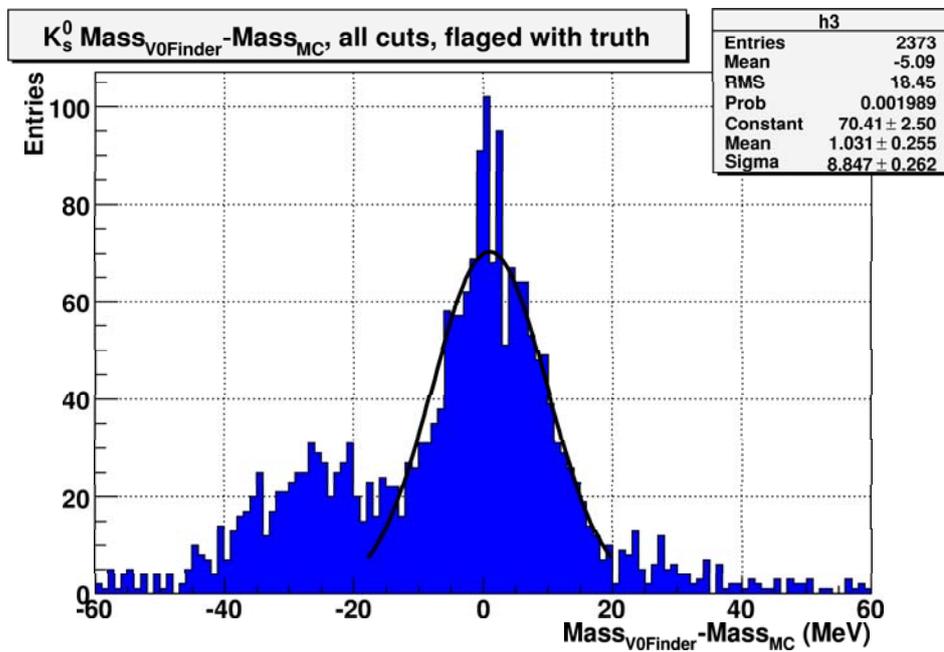
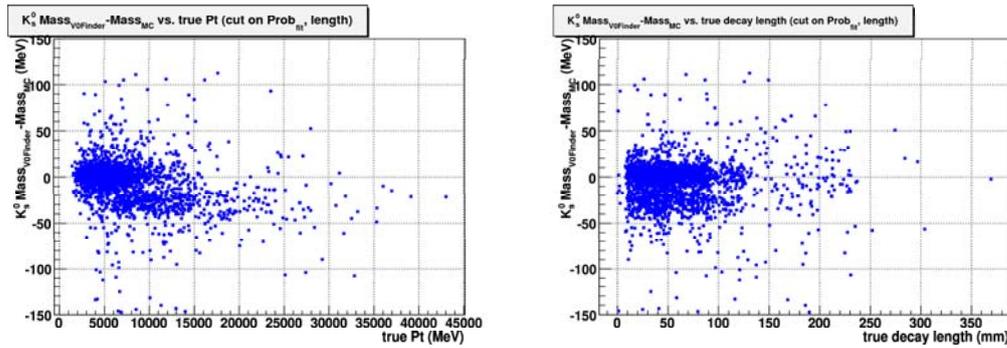


ABBILDUNG 7.14: Differenz der rekonstruierten Masse und der MC-Masse des  $K_s^0$ -Mesons

Des Weiteren ist eine Ausschmierung des Massenpeaks zu niedrigeren Massen ersichtlich.

Die Rekonstruktion der  $K_s^0$ -Masse ist in erster Linie abhängig von der Rekonstruktion der Impulse der betrachteten Pionen.



(a) Massendifferenz als Funktion des transversalen Impulses (b) Massendifferenz als Funktion des Zerfallsradius

ABBILDUNG 7.15: *Differenz der rekonstruierten Masse und der MC-Masse des  $K_s^0$ -Mesons als Funktion (a) des transversalen Impulses und (b) des Zerfallsradius*

Abbildung 7.15 zeigt die Differenz der rekonstruierten Masse und der MC-Masse des  $K_s^0$ -Mesons als Funktion (a) des MC-generierten transversalen Impulses sowie (b) des MC-generierten Zerfallsradius. Ersteres Diagramm zeigt eine klare Abhängigkeit der Massenverschiebung vom transversalen Impuls des  $K_s^0$ -Mesons. So ist ersichtlich, dass die Verschiebung ab etwa einem Wert von 6 GeV auftritt und dass ab etwa 10 GeV die Differenz zwischen Rekonstruktion und Monte-Carlo dominiert.

Eine mögliche Erklärung für dieses Ausschmieren ist der eingangs erwähnte Zusammenhang zwischen Kaonen mit großem Boost und dem späten Zerfallsorts im Detektor. Durch die Abnahme der Treffer im Detektor kann es zu nicht genauen Kalkulationen in der Extrapolation kommen.

Einfluss kann auch die benutzte Fit-Methode haben. Da innerhalb der gewählten „Combined Test Beam“ Umgebung die Verwendung der vollen Billoir-Fit-Methode zum Extrapolieren des Vertex technisch nicht möglich war (unterschiedliche Koordinatensysteme des ATLAS-Experiments und des „CTBs“), musste die vereinfachte Version des Billoir-Fitters genommen werden. Dieser beruht darauf, dass die Impulsvektoren der Spuren in der Nähe des Perigeepunktes<sup>5)</sup> für jeden Iterationsschritt innerhalb des Algorithmus als konstant angesehen werden.

Eine weitere Erklärung können Wechselwirkungen der Pionen mit Detektormaterial sein, die das Impulsspektrum verändern.

<sup>5)</sup>Punkt nächster Annäherung zum Vertex

## Winkel

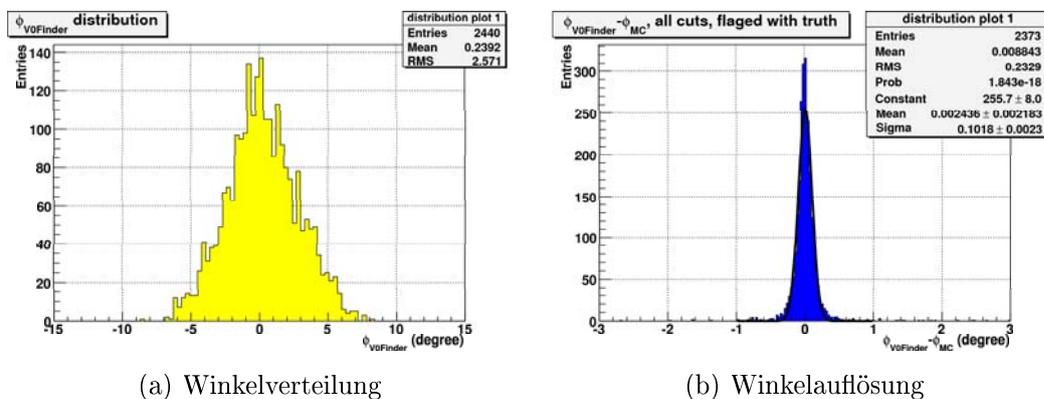


ABBILDUNG 7.16: Verteilung und Auflösung des azimutalen Winkels ( $\phi$ ) des Impulses

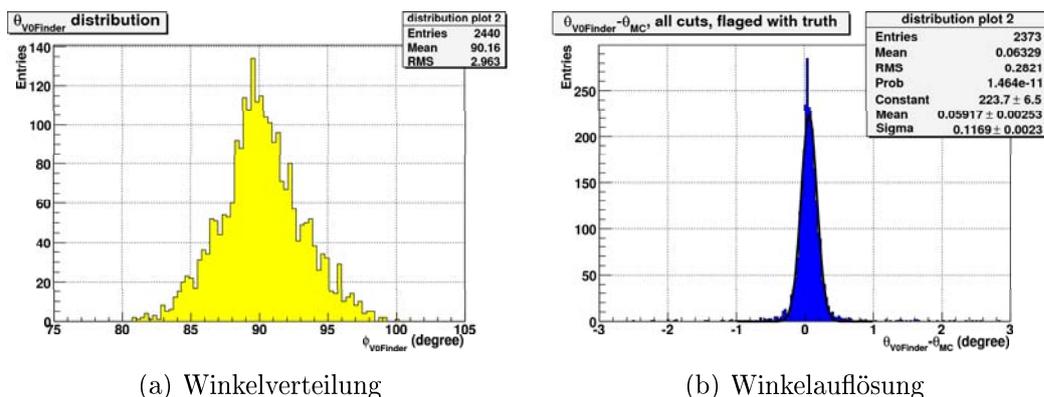


ABBILDUNG 7.17: Verteilung und Auflösung des polaren Winkels ( $\Theta$ ) des Impulses

Die Abbildungen 7.16 und 7.17 geben die Verteilung der beiden Perigee-Parameter  $\phi$  und  $\Theta$  an. Der Winkel  $\phi$  ist der azimutale Winkel des  $K_s^0$ -Impulses am Perigee-Punkt,  $\Theta$  der polare.

Für  $\phi$  wurde ein Wert um  $0^\circ$  erwartet, welcher durch die Verteilung in Abbildung 7.16(a) bestätigt wird. Abbildung 7.16(b) zeigt die zugehörige Auflösung der Winkelverteilung.

Gleiches gilt für den Winkel  $\Theta$ , dessen erwartete Verteilung in Abbildung 7.17(a) um einen Wert von  $90^\circ$  gezeigt ist. Auch hier ergibt sich eine sehr gute Winkelaufloesung (Abbildung 7.17(b)). Auffällig ist allerdings ein leichter Shift zu positiven Werten.

## Vertextauflösung

Die Auflösung des Vertex in x-Richtung in der Geometrie des „Combined Test Beams“ ist in Abbildung 7.18 dargestellt. Nach [60] wurde eine Auflösung von etwa 0,5 mm im Bereich des Zerfallsradius von 10 – 100 mm erwartet, die im Rahmen dieser Arbeit bestätigt werden kann.

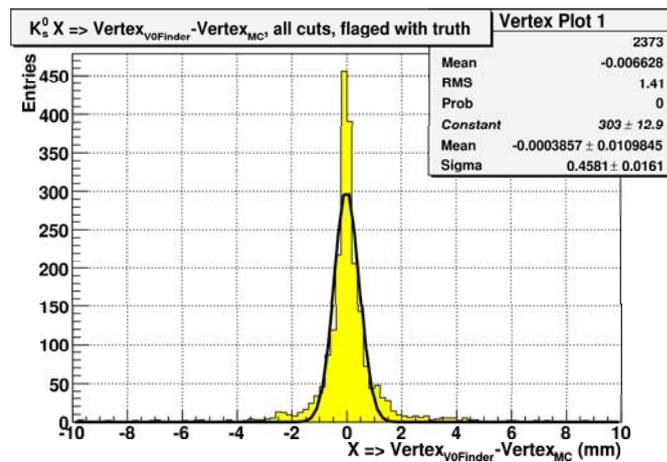


ABBILDUNG 7.18: Vertextauflösung in x-Richtung in der Geometrie des „Combined Test Beams“

Die sehr gute Auflösung des Vertex in y-Richtung wird durch Abbildung 7.19 vermittelt.

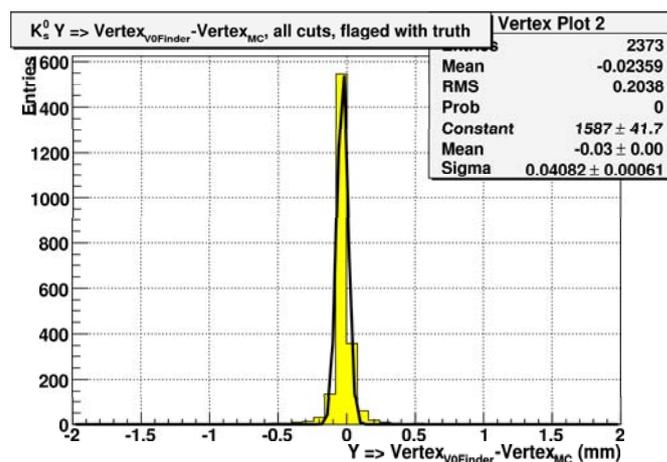


ABBILDUNG 7.19: Vertextauflösung in y-Richtung in der Geometrie des „Combined Test Beams“

## Effizienz

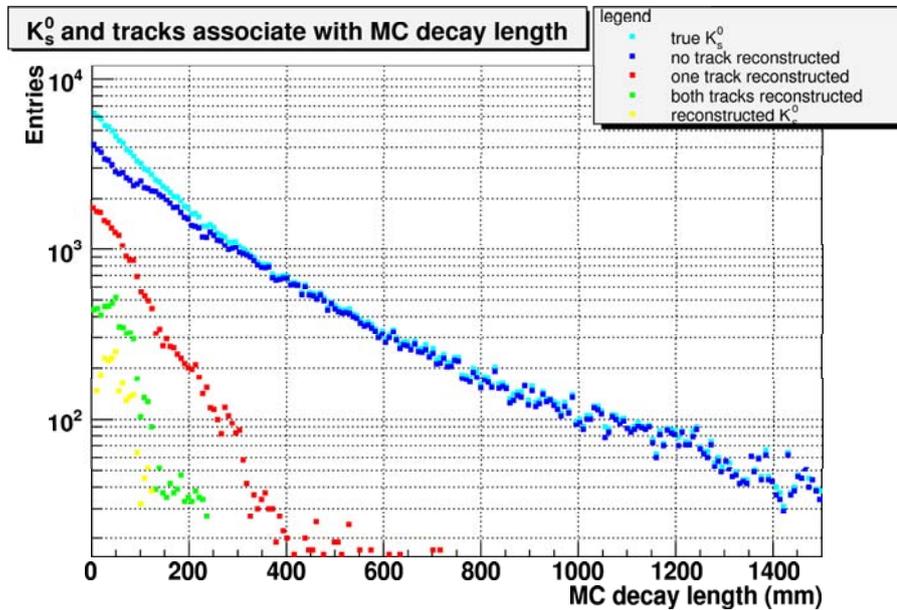


ABBILDUNG 7.20:  $K_s^0$ -Mesonen als Funktion des MC-generierten Zerfallsradius

Abbildung 7.20 gibt die Zuordnung der MC-generierten  $K_s^0$ -Mesonen, die in  $\pi^+\pi^-$  zerfallen sind, mit der jeweiligen Anzahl der rekonstruierten Spuren als Funktion des MC-generierten Zerfallsradius an. Ferner ist die Zuordnung der rekonstruierten  $K_s^0$ -Mesonen eingezeichnet. Dem zugrunde liegen folgende Zahlen:

	Anzahl
Mit HIJING generierte Ereignisse	500 000
Filter auf Zerfall $K_s^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$	155 380
keine Spur rekonstruiert	125 000
1 Spur rekonstruiert	24 148
2 Spuren rekonstruiert	6 142
$K_s^0$ rekonstruiert	2 373

TABELLE 7.2: Verlust in der Ereignisrate

Die starke Abnahme der Ereignisrate hängt in erster Linie mit dem begrenzten Ausschnitt des Aufbaus am „Combined Test Beam“ zusammen. So zeigt Abbildung 7.21 sehr deutlich, dass sich die Ereignisse mit zwei rekonstruierten Spuren auf einen Bereich von etwa  $\pm 20$  mm in y-Richtung beschränken. Diese Region entspricht der

Breite der im Pixeldetektor verwendeten Lagen und weist somit auf eine Abhängigkeit der Abnahme von der Geometrie des Detektors hin.

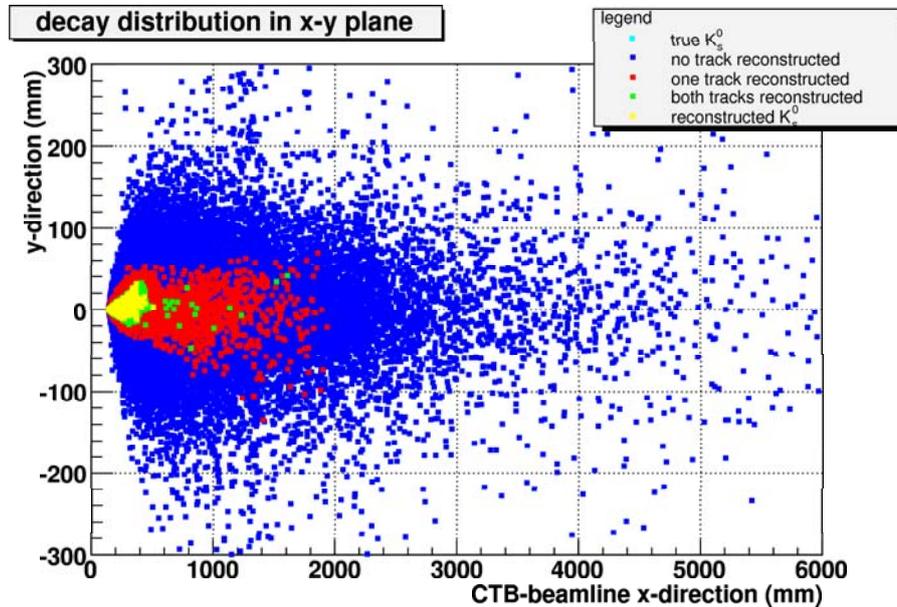


ABBILDUNG 7.21: Verteilung des Vertex in der x-y-Ebene (x-Richtung entspricht Strahlachse)

Die folgenden Effizienzen der Rekonstruktion basieren auf dem Vergleich der Daten mit jeweils zwei rekonstruierten Spuren mit den Daten der rekonstruierten  $K_s^0$ -Mesonen.

Abbildung 7.22 zeigt die Effizienz als Funktion des MC-generierten Zerfallsradius. Der durchschnittliche Wert von etwa 40 %, bei dem das  $K_s^0$ -Meson im Volumen des Pixeldetektors zerfällt, nimmt bis auf einen Wert von 10 % ab. Diese Abnahme ist korreliert mit Zerfällen im Volumen zwischen der letzten Pixeldetektor-Lage (Layer\_2) und der ersten SCT-Lage ( $16 \leq x \leq 30$  cm). Somit kann der Effizienzverlust auf Schwierigkeiten bei der Extrapolation der Vertex-Positionen in diesem Bereich hindeuten.

Abbildung 7.23 zeigt die Effizienz als Funktion des MC-generierten transversalen Impulses des  $K_s^0$ -Mesons. Diese liegt bei durchschnittlich 40 % und ist über einen großen Bereich nahezu konstant, was in Übereinstimmung mit der Studie in [60] ist. Daraus ist ersichtlich, dass die Effizienz nicht vom Impuls des  $K_s^0$ -Mesons abhängt.

Die in [60] erwartete Effizienz als Funktion des Zerfallsradius liegt im Bereich von etwa 70 %. Eine mögliche Erklärung für die Differenz zu der hier vorliegenden Studie kann in der Verwendung der vereinfachten Version des Billoir-Fitters liegen, da auch die Untersuchung in [60] eine Abhängigkeit der Effizienz vom Impaktparameter der beiden Zerfallsprodukte aufweist.

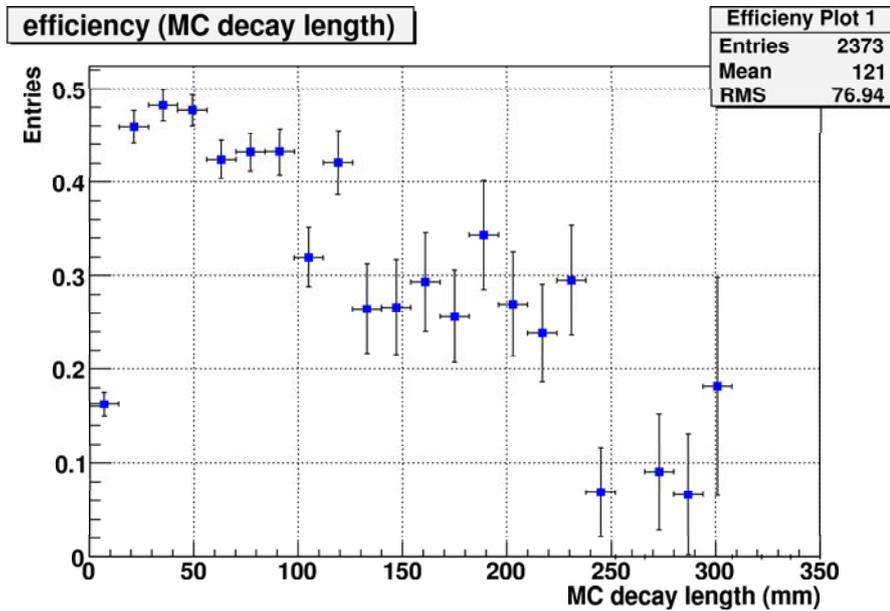


ABBILDUNG 7.22: Effizienz der  $K_s^0$  Rekonstruktion als Funktion des MC-generierten Zerfallsradius – der zu niedrige erste Eintrag im Diagramm von 18% ist durch den zuvor verwendeten Schnitt auf den Zerfallsradius zu erklären.

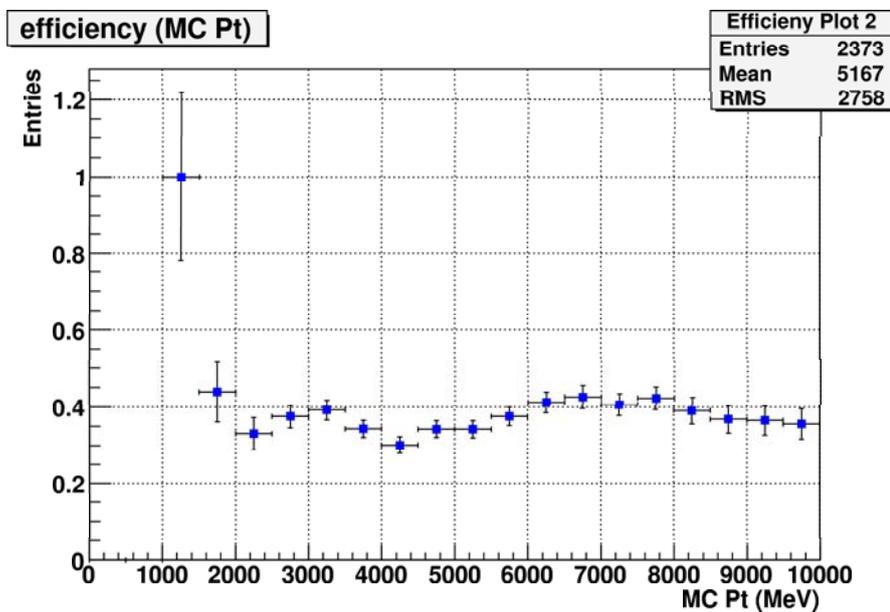


ABBILDUNG 7.23: Effizienz der  $K_s^0$  Rekonstruktion als Funktion des MC-generierten transversalen Impulses

Weiterhin könnte der Selektionsschnitt auf die Fit-Wahrscheinlichkeit zu ungewollten Verlusten führen. So zeigt Abbildung 7.24 die Korrelation der Fit-Wahrscheinlichkeit für Pion-Spuren mit dem kleinsten transversalen Impuls in einem Zerfall. Es folgt zwar, dass für Wahrscheinlichkeiten  $\leq 0,01$  oder  $\ln(\text{prob}_{\text{fit}}) \leq -0,46$  Spuren hauptsächlich transversale Impulse im kleineren Wertebereich besitzen. Allerdings sind auch viele solcher Spuren mit hoher Fit-Wahrscheinlichkeit vorhanden, so dass nur weitere Untersuchungen eine klare Aussage diesbezüglich ermöglichen könnten.

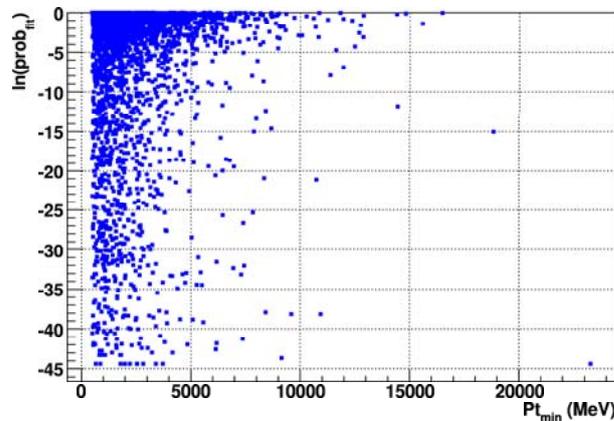


ABBILDUNG 7.24: *Fit-Wahrscheinlichkeit als Funktion des kleinsten transversalen Impulses beider Pionen*

## 7.4 Zusammenfassung

Die im Rahmen dieser Arbeit vorgestellte Analyse zeigt die prinzipielle Möglichkeit einer Rekonstruktion von  $K_S^0$ -Mesonen über den Zerfall  $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$  in der Detektorgeometrie des „Combined Test Beams“. Zum Einsatz kam dabei ein in der Anfangsentwicklung befindlicher Suchalgorithmus [63]. Gezeigt wurde die Rekonstruktion der invarianten Masse zusammen mit ihrer Auflösung. Untersucht wurden sowohl die Winkelverteilung der Impulse wie auch die Verteilung der Vertices. Darüber hinaus wurde die Effizienz bestimmt.

Die vorliegende Studie basierte auf simulierten Daten aus 500 000 generierten Ereignissen. Sie sollte mit höherer Statistik und dem Selektionsschnitt *Fit-Qualität bezüglich des Vertex* ( $\chi^2/DoF \leq 6$ ) wiederholt werden. Im Besonderen ist eine Studie mit am „Combined Test Beam“ genommenen Daten zu empfehlen.

# Zusammenfassung und Ausblick

Schwerpunkte der vorliegenden Arbeit waren neben Weiterentwicklungen bezüglich der Pixel Detektorkontrolle, die Anbindung des Pixel Detektorkontrollsystems an das ATLAS Datennahmesystem zusammen mit der Behandlung der Kommunikation zwischen den beiden Systemen wie auch die Untersuchung einer Speichermethode von Kenngrößen in einer Conditions-Datenbank.

Mit der vom Autor festgelegten Definition des geografischen Ansatzes ist die Grundlage für ein flexibles und leistungsfähiges Pixel Detektorkontrollsystem geschaffen worden. Die entsprechende Umsetzung im Backend-System der Pixel Detektorkontrolle, als System Integration Tool (SIT) bezeichnet, erlaubte eine erstmalige Beteiligung an den Systemtest-Aufbauten mehrerer Institute wie auch die Teilnahme an den Teststrahlperioden im Jahr 2003 und 2004. Bis heute benutzen sämtliche Aufbauten aufgrund der breiten Akzeptanz die hier vorgestellte Entwicklung. Der modulare Aufbau des Pixel Detektorkontrollsystems konnte weiterhin bestätigt werden. Somit dient das System Integration Tool als Ausgangspunkt für weitere Entwicklungen innerhalb der Detektorkontrolle. Zu nennen sind neben einer DCS Zustandsmaschine die hier behandelten Anbindungen des Pixel Detektorkontrollsystems an das Datennahmesystem und die Conditions-Datenbank. Ferner waren Erweiterungen des vorgestellten System Integration Tools (SIT) unter anderem Thema einer Diplomarbeit (siehe [30]). Mit Vergrößerung des Systemtest-Aufbaus am CERN sollten diese Erweiterungen eingesetzt werden.

Die Untersuchung der Kommunikation zwischen dem Pixel Detektorkontrollsystem und dem ATLAS Datennahmesystem, bezeichnet als 'DAQ-DCS-Communication (DDC)', zeigte die Notwendigkeit einer solchen Schnittstelle für den zuverlässigen Betrieb des späteren Experimentes. Durch die im Rahmen dieser Arbeit zusätzlich durchgeführte Konzeption einer weiteren Schnittstelle zwischen DDC und einer DCS Zustandsmaschine sowie durch den Einsatz von Transition-Befehlen konnte der benötigte Abgleich der Zustandsautomaten der Detektorkontrolle und des Datennahmesystems zuverlässig gezeigt werden. Damit konnte dem Datennahmesystem die Hauptkontrolle erfolgreich übergeben werden. Während des Einsatzes der Schnittstelle am „Combined Test Beam“ ließen sich DCS-Aktionen mit Transition-Befehlen verknüpfen. Dadurch konnte die vorliegende Arbeit am Beispiel des Zurücksetzens des Optoboards einen großen Beitrag am Gelingen der Datennahme während der

Teststrahlperiode leisten. Ferner konnte gezeigt werden, dass pixelspezifische Anwendungen im Datennahmesystem durch Anwendung von NonTransition-Befehlen während eines Runs die Möglichkeit hatten, auf Komponenten der Detektorkontrolle einwirken zu können, ohne den Gesamtzustand beider Systeme zu verändern. Der gegenseitige Austausch von Daten wurde anhand von Beispielen vorgestellt. Für das Pixel Detektorkontrollsystem stellt die Schnittstelle diesbezüglich die einzige Möglichkeit dar, Parameter der Back of Crate Karte (BOC) zu überwachen oder Kenngrößen mit der aktuellen Runnummer zu verbinden. Für das Datennahmesystem bildet dieser Austausch die Grundlage, Hardware mit Hilfe von Parametern der Detektorkontrolle zu kalibrieren. Probleme bezüglich des Datentransfers werden bei einer geplanten Erweiterung des Systemtest-Aufbaus erwartet. Als Lösungen sind eine veränderte Datenstruktur wie auch zusätzliche Dienste diskutiert und angeboten worden. Die Übermittlung von Meldungen am „Combined Test Beam“ half dabei, auf Systemänderung schnell reagieren zu können. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass das Pixel Detektorkontrollsystem mit der hier durchgeführten Konfiguration als Teil des TDAQ Systems dem geforderten Partitionsprinzip folgen kann. Der Einsatz der Schnittstelle 'DAQ-DCS-Communication (DDC)' hat sich bewährt. Es konnten sämtliche Anforderungen des Pixeldetektors bestens erfüllt werden. Daher ist das im Rahmen dieser Arbeit ausgearbeitete Paket für die Kommunikation zwischen dem Pixel Detektorkontrollsystem und dem Datennahmesystem in angepasster Form für das spätere ATLAS-Experiment dringend zu befürworten.

Die eingesetzte Schnittstelle zur Conditions-Datenbank wies im Einsatz am „Combined Test Beam“ Defizite auf. Für die Verwendung der Schnittstelle musste massiv in das Backend-System des Pixel Detektorkontrollsystems eingegriffen werden. Abschätzungen der Datenmenge lagen im Bereich des Erwarteten. Weiterhin wurden Untersuchungen zur Filterung von Daten durchgeführt und die damit verbundenen Probleme diskutiert. Zur grafischen Darstellung der am „Combined Test Beam“ genommenen Conditions-Daten des Pixel Detektorkontrollsystems wurde eine Schnittstelle zur Datenextraktion entwickelt und vorgestellt.

Die im Rahmen dieser Arbeit gemachten Erfahrungen konnten der ATLAS DCS Gruppe helfen, eine vollkommen neue Schnittstelle zu entwickeln, die allen Detektorkontrollsystemen am Large Hadron Collider zur Verfügung stehen soll. Ein Prototyp wird seit Anfang 2006 angeboten und sollte so bald wie möglich in die Pixel Detektorkontrolle integriert werden, da er viele der hier geforderten Aspekte erfüllt.

Ziel der abschließenden Analyse war es, die prinzipielle Rekonstruktion von  $K_s^0$ -Mesonen über den Zerfall  $K_s^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$  in der Detektorgeometrie des „Combined Test Beam“ zu zeigen. Erörtert wurde die Rekonstruktion der invarianten Masse zusammen mit ihrer Auflösung. Untersucht wurden sowohl die Winkelverteilung der Impulse wie auch die Verteilung der Vertices. Darüber hinaus ließ sich die Effizienz bestimmen.

Es bleibt zu empfehlen, die hier gezeigte, auf simulierten Daten basierende Analyse mit am „Combined Test Beam“ genommenen Daten fortzuführen.

## Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie Zitate kenntlich gemacht habe.

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Fundamentale Feynman-Graphen der Quantenelektrodynamik . . . . .	5
1.2	Fundamentale Feynman-Graphen der Quantenchromodynamik . . . . .	7
1.3	Fundamentale Feynman-Graphen der Proton-Proton-Streuung . . . . .	9
1.4	Wirkungsquerschnitte für verschiedene Prozesse am LHC als Funktion der Schwerpunktsenergie . . . . .	10
2.1	Schematische Ansicht des Large Hadron Colliders . . . . .	13
2.2	Signifikanz für die Entdeckung des SM Higgs-Bosons in verschiedenen Kanälen als Funktion der Higgs-Masse . . . . .	14
2.3	Schematischer Aufbau des ATLAS-Detektors am LHC . . . . .	15
2.4	Schnitt durch das Myon-Spektrometer . . . . .	16
2.5	Schematischer Aufbau des Myon-Spektrometers unter Verwendung der vier Technologien . . . . .	17
2.6	Schematischer Aufbau des Kalorimetersystems . . . . .	18
2.7	Schematischer Aufbau des Inneren Detektors . . . . .	19
2.8	Schematischer Aufbau des ATLAS-Pixeldetektors . . . . .	22
2.9	Ansicht eines Detektormoduls des Pixeldetektors . . . . .	23
2.10	Blockschaltbild des Auslesekonzepts des ATLAS-Pixeldetektors . . . . .	24
2.11	Schematische Darstellung des dreistufigen Triggersystems des ATLAS-Experimentes . . . . .	26
2.12	Einbettung der Online Software in das TDAQ System . . . . .	28
2.13	Interaktion zwischen den Online Software Bereichen . . . . .	29
2.14	Schnittstellen zum Information Service . . . . .	30
2.15	Schnittstellen zum Error Reporting Service . . . . .	31
2.16	Hierarchie der Online Software Kontrolle . . . . .	33

---

2.17	Zustandsmaschine 'Run Control' . . . . .	35
3.1	Hierarchische Organisation des ATLAS Detektorkontrollsystems . . . . .	38
3.2	Blockdiagramm des Embedded Local Monitor Boards . . . . .	43
3.3	Gesamtansicht des Spannungsversorgungssystems für den Pixeldetektor . . . . .	44
3.4	Schematische Darstellung des SC-OLinks . . . . .	48
3.5	Schematische Darstellung des des Patch Panel 3 . . . . .	49
3.6	Gesamtansicht des Frontend-Systems des Pixel Detektorkontrollsystems . . . . .	53
3.7	Architektur des PVSS II Systems . . . . .	55
3.8	Beispiel einer Datenpunktstruktur . . . . .	56
3.9	OPC Kommunikationsweg nach dem Client-Server-Prinzip . . . . .	57
3.10	Datenpunktstruktur für ausgewählte Pixel DCS Frontend-Komponenten . . . . .	58
3.11	Grafische Benutzeroberfläche des Frontend Integration Tools für die Versorgung des Optoboards (SC-OLink) . . . . .	59
3.12	Projektierung des Backend-Systems im Pixel Detektorkontrollsystem . . . . .	60
3.13	Logische Architektur eines funktional ausgerichteten Detektorkontrollsystems . . . . .	61
3.14	Gebräuchlichste Mechanismen zwischen zwei Kontrolleinheiten im Verbund einer DCS Zustandsmaschine . . . . .	62
3.15	Zustandsmodell eines fiktiven Detektors mit einem Hochspannungssystem . . . . .	63
3.16	Schematische Ansicht des Netzwerkes des Pixel Detektorkontrollsystems . . . . .	65
4.1	geografischer Ansatz des Pixel Detektorkontrollsystems . . . . .	67
4.2	Grafische Benutzeroberfläche des System Integration Tools für die Konfiguration eines Detektormoduls im Detektorkontrollsystem . . . . .	69
4.3	Grafische Benutzeroberfläche des System Integration Tools für die Konfiguration der Umgebungsparameter im Detektorkontrollsystem . . . . .	70
4.4	Schematische Darstellung der Verknüpfungen von funktionaler und geografischer Struktur innerhalb des Pixeldetektorkontrollsystems . . . . .	71
4.5	Schnittstelle des Detektorkontrollsystems zum Benutzer . . . . .	72
4.6	Grafische Benutzeroberfläche zur Darstellung von historischen Daten . . . . .	73
5.1	Schematische Übersicht der DDC Komponenten . . . . .	78

---

5.2	Sequenzdiagramm DAQ → DCS Data-Transfer . . . . .	80
5.3	Abhandlung eines Transition-Befehls innerhalb der Pixel Detektor- kontrolle . . . . .	82
5.4	Sequenzdiagramm Command-Transfer, Transition-Befehl . . . . .	83
5.5	Sequenzdiagramm Message-Transfer . . . . .	85
5.6	Integration des DCS Segments in die jeweiligen Partitionen . . . . .	87
5.7	Schematische Darstellung des Rücksetzvorgangs des Optoboards un- ter Benutzung eines Transition-Befehls . . . . .	89
5.8	Interface DDC-FSM . . . . .	90
5.9	Modell der DCS Zustandsmaschine am „Combined Test Beam“ . . . . .	91
5.10	Grafische Benutzeroberfläche der DCS Zustandsmaschine am „Com- bined Test Beam“ . . . . .	93
5.11	Typische Zeiten für die unterschiedlichen Zustandsänderungen für einen Run . . . . .	95
5.12	Abhandlung einer DAQ Zustandsänderung innerhalb von DCS . . . . .	97
5.13	Grafische Benutzeroberfläche für die pixelspezifische Schnittstelle DDC	99
5.14	Unterschiedliche Zeitstempel . . . . .	99
5.15	Grafische Benutzeroberfläche zur Konfiguration einer DCS Zustands- maschine . . . . .	101
5.16	Zwei Auszüge von DCS Meldungen im Message Reporting Service . . .	102
5.17	Grafische Benutzeroberfläche zum Testen der Schnittstelle DDC . . .	103
5.18	Zusammenhang Datenpunktstruktur und entsprechende Einträge in der Online Software Umgebung . . . . .	105
5.19	Gesamtzeit für unterschiedlich viele Änderungen . . . . .	108
5.20	Grafische Benutzeroberfläche zur Auslese der Back Of Crate Karten .	111
6.1	Szenario einer möglichen Datenbankabfrage durch einen Benutzer . .	115
6.2	Datenpunktstruktur zur Konfiguration des PVSS II API-Managers 'CondDBMysql' . . . . .	118
6.3	Verbindungsaufbau zwischen Detektorkontrollsystem und Conditions-Datenbank . . . . .	119
6.4	nterschiedliche Datenpunktstrukturen innerhalb von PVSS II . . . . .	122
6.5	Datenpunktstruktur für einen Knoten . . . . .	126
6.6	Schematische Darstellung des modifizierten Speichermechanismus? durch zeitabhängiges Kopieren aller relevanten Daten . . . . .	129

6.7	Zusammenfassung der produzierten Datenmenge aller angemeldeten DCS Variablen . . . . .	132
6.8	Glättungsprozess bei Änderung des aktuellen Wertes um einen bestimmten Betrag . . . . .	135
6.9	Glättungsprozess bei Verlassen oder Betreten eines Wertefensters durch den aktuellen Wert . . . . .	136
6.10	Wirkungsweise beider Filteralgorithmen innerhalb einer Simulation einer Temperatur . . . . .	137
6.11	Verlauf der Depletionsspannung eines Detektormoduls für einen vorgegebenen Zeitraum, dargestellt mit Werten aus der Conditions-Datenbank . . . . .	139
6.12	Verlauf des Versorgungsstroms der PiN-Diode der optischen Datenübertragung für eine vorgegebene Runnummer, dargestellt mit Werten aus der Conditions-Datenbank . . . . .	140
6.13	Datenverlust im Temperaturverlauf der sechs am „Combined Test Beam“ betriebenen Detektormodule sowie der drei Temperatursensoren für einen ausgewählten Run . . . . .	142
6.14	Schematische Darstellung des Datenflusses von Conditions-Daten aus der Detektorkontrolle in eine COOL Conditions-Datenbank . . . . .	145
7.1	Grafische Darstellung eines simulierten $B_d^0 \rightarrow J/\Psi K_s^0$ Zerfalls im Inneren Detektor des ATLAS-Experiments bei niedriger Luminosität . .	147
7.2	Aufbau des Pixeldetektors am „Combined Test Beam“ . . . . .	149
7.3	Aufbau des SCT Detektors am „Combined Test Beam“ . . . . .	150
7.4	Aufbau des TRT Detektors am „Combined Test Beam“ . . . . .	150
7.5	Aufbau des Inneren Detektors am „Combined Test Beam“ zusammen mit dem Magneten. . . . .	151
7.6	Aufbau des „Combined Test Beams“ . . . . .	152
7.7	Datenfluss im Simulationsprozess . . . . .	154
7.8	Ablauf der Spur-Rekonstruktion . . . . .	154
7.9	Spektrum des transversalen Impulses des MC-generierten $K_s^0$ -Mesons wie auch des kleinsten transversalen Impulses eines der Zerfalls-Pions	156
7.10	Ansicht der rekonstruierten Spuren (zum Vergleich mit MC-Spuren) eines $K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ Zerfalls mit dem Analyseprogramm ATLANTIS . .	157
7.11	Verteilung der Fit-Wahrscheinlichkeit nach Fit mit der Billoir-Methode mit und ohne Flag auf ein MC-truth $K_s^0$ -Meson . . . . .	158

---

7.12	Auswirkung der Selektionsschnitte auf die Rekonstruktion der Masse des $K_s^0$ -Mesons . . . . .	159
7.13	Rekonstruierte Masse des $K_s^0$ -Mesons über den Zerfall $K_s^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ . .	160
7.14	Differenz der rekonstruierten Masse und der MC-Masse des $K_s^0$ -Mesons	160
7.15	Differenz der rekonstruierten Masse und der MC-Masse des $K_s^0$ -Mesons als Funktion des transversalen Impulses und des Zerfallsradius	161
7.16	Verteilung und Auflösung des azimutalen Winkels ( $\phi$ ) des Impulses .	162
7.17	Verteilung und Auflösung des polaren Winkels ( $\Theta$ ) des Impulses . . .	162
7.18	Vertextauflösung in x-Richtung in der Geometrie des „Combined Test Beams“ . . . . .	163
7.19	Vertextauflösung in y-Richtung in der Geometrie des „Combined Test Beams“ . . . . .	163
7.20	$K_s^0$ -Mesonen als Funktion des MC-generierten Zerfallsradius . . . . .	164
7.21	Verteilung des Vertex in der x-y-Ebene (x-Richtung entspricht Strahlachse) . . . . .	165
7.22	Effizienz der $K_s^0$ Rekonstruktion als Funktion des MC-generierten Zerfallsradius . . . . .	166
7.23	Effizienz der $K_s^0$ Rekonstruktion als Funktion des MC-generierten transversalen Impulses . . . . .	166
7.24	Fit-Wahrscheinlichkeit als Funktion des kleinsten transversalen Impulses beider Pionen . . . . .	167

# Tabellenverzeichnis

1.1	Die Fermionen des Standardmodells zusammen mit ihrer Ladungen und Massen . . . . .	4
1.2	Die vier Grundkräfte der Physik und ihre zugeordneten Eichbosonen .	4
2.1	Dimensionen und Zusammensetzung des ATLAS-Pixeldetektors . . .	22
2.2	Übergangsbefehle der Zustandsmaschine 'Run Control', zusammen mit den Auswirkungen auf das TDAQ System . . . . .	35
3.1	Interlock-Schema der Interlock-Matrix . . . . .	52
3.2	Anzahl der Parameter im Pixel Detektorkontrollsystem . . . . .	53
5.1	Übersetzung von PVSS II Meldeprioritäten in die Gewichtung . . . .	84
5.2	Abschätzung der Abarbeitungszeit am Beispiel der DCS Aktion 'Rücksetzen des Optoboards' . . . . .	96
5.3	Zusammenhang zwischen Anzahl der Datenpunktelemente und deren Auffrischzeit im Information Service . . . . .	107
6.1	Auszug aus der Conditions-Datenbank für die Kenngröße Spannung des Parameters Hochspannung . . . . .	119
6.2	Auszug aus der Conditions-Datenbank für die DCS Hardware-Komponente SC-OLink . . . . .	124
6.3	Auszug aus der Conditions-Datenbank mit günstiger ID-Wahl . . . .	124
6.4	Auszug aus der Conditions-Datenbank mit ungünstiger ID-Wahl . . .	125
6.5	Abschätzung des Jahres-Speicherbedarfs in der Conditions-Datenbank für ausgewählte Komponenten . . . . .	132
6.6	Abschätzung der Kopierzeit aller Datenpunkte im Pixel Detektorkontrollsystem für den ungünstigsten Fall . . . . .	134

---

7.1	Selektionsschnitte für die Rekonstruktion von $K_s^0$ -Mesonen . . . . .	158
7.2	Verlust in der Ereignisrate . . . . .	164

# Literaturverzeichnis

- [1] S. Eidelman et al. (Particle Data Group), Phys. Lett. B 592, 1 (2004)  
<http://pdg.lbl.gov>
- [2] F. Halzen, A. D. Martin, „*Quarks & Leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics*“, Verlag John Wiley, 1984
- [3] E. Lohrmann, „*Hochenergiephysik*“, Verlag Teubner, 4. Auflage, 1992
- [4] ATLAS HLT/DAQ/DCS Group, „*ATLAS High-Level Triggers, DAQ and DCS, Technical Proposal*“, CERN/LHCC/2000-17, 19. September 2000
- [5] LHC Homepage, „*Design Report*“,  
<http://ab-div.web.cern.ch/ab-div/Publications/LHC-DesignReport.html>
- [6] CERN Homepage,  
<http://public.web.cern.ch/Public/Welcome.html>
- [7] A. Djouadi, „*The Search for Higgs particles at high-energy colliders: Past, Present and Future*“, hep-ph/0205248v1, 22. Mai 2002
- [8] ATLAS Muon Collaboration, „*ATLAS Muon Spectrometer, Technical Design Report*“, CERN/LHCC/97-22, 05. Juni 1997
- [9] ATLAS Collaboration, „*Calorimeter Performance, Technical Design Report*“, CERN/LHCC/97-40, 13. Januar 1997
- [10] ATLAS Inner Detector Community, „*Inner Detector, Technical Design Report, Volume 2*“, CERN/LHCC/97-17, 30. April 1997
- [11] Tobias Stockmanns, „*Multi-Chip-Modul-Entwicklung für den ATLAS-Pixeldetektor*“, BONN-IR-2004-06, Universität Bonn, März 2004
- [12] ATLAS Collaboration, „*ATLAS Detector and Physics Performance, Technical Design Report, Volume 1*“, CERN/LHCC/99-14, 25. Mai 1999

- [13] ATLAS Homepage,  
<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/index.html>
- [14] Fernando Varela Rodriguez, „*The Detector Control System of the ATLAS Experiment an CERN: An application to the calibration of the modules of the Tile Hadron Calorimeter*“, CERN-THESIS-2002-035, April 2002
- [15] ATLAS TDAQ/DCS Online Software, „*Online Software Architecture*“, Draft Version 0.4, CERN, 04. Juli 2002
- [16] H. Burckhart et al., ATLAS TDAQ/DCS Global Issues Working Group, „*Run and States*“, CERN ATL-DAQ-2003-024, 27. Juli 2002
- [17] H. Burckhart et al., ATLAS TDAQ/DCS Global Issues Working Group, „*Partitioning*“, CERN ATL-DAQ-2003-025, 27. Juli 2002
- [18] D. Francis, T. Wildish, „*Partitioning issues in DAQ/EF prototype -1*“, ALTAS DAQ Technical Note 60, CERN, 28. September 1997
- [19] „*Online Software training*“, Version 2.2, ATLAS DAQ Technical Note 149, Juli 2004  
<http://atddoc.cern.ch/Atlas/Notes/149/Note149-1.html>
- [20] A. Kazarov et al. (*Controller Requierements*), Version 2.0, CERN ATL-DQ-ES-0054, August 2004
- [21] S. Kersten, P. Kind, „*Technical Description of the Interlock Circuit and System of the ATLAS Pixel Detector*“, Revision 1.2, CERN ALT-IP-ES-0041, Februar 2004
- [22] Pixel DCS Homepage,  
<http://www2.uni-wuppertal.de/FB8/groups/Teilchenphysik/atlas/dcs/index.html>
- [23] Homepage des Xeritron-Sensors,  
<http://www.hygrometrix.net/xeritron.html>
- [24] ATLAS DCS Homepage, ELMB  
<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/GROUPS/DAQTRIG/DCS/ELMB/ELMBhome.html>
- [25] J. Schultes et al. „*Validation studies of the ATLAS pixel detector control system*“, proceedings of International Workshop on Semiconductor Pixel Detectors for Particles and Imaging, Bonn, Deutschland, 5.-8. September 2005
- [26] S. Kersten, „*Requirements for the Power Supply of the ATLAS Pixel Detector*“, Revision 3.4, CERN ALT-IP-ES-0005, Februar 2005

- 
- [27] S. Kersten, T. Flick, P. Kind und S. Kirichu Nderitu, „*The Supply and Control system for the Opto Link od the ATLAS pixel detector*“, Revision 1.6, CERN ATL-IP-ES-0106, Juni 2005
- [28] S. Kersten, P. Kind, „*Pixel PP3 Patch Panels Design*“, Revision 1.8, CERN ATL-IP-ES-0075 12. April 2005
- [29] S. Kersten „*The Interlock Matrix of the Pixel Detector Control System*“, Revision 1.5, CERN ALT-IP-ES-0110, Dezember 2005
- [30] T. Henss, „*Benutzerschnittstellen des ATLAS-Pixeldetektorkontroll-systems*“, Diplomarbeit, Universität Wuppertal, WU D 05-04, Mai 2005
- [31] PVSS II Online-Hilfe
- [32] J. Schultes, „*Das Backendsystem für die ATLAS-Pixeldetektorkontrolle*“, Diplomarbeit, Universität Wuppertal, WU D 03-07, Mai 2003
- [33] C. Gaspar, „*JCOP Framework - Hierarchical Controls*“, Draft 1.0, internes Dokument, CERN, 10. Ferbruar 2004
- [34] M. Imhäuser, „*Weiterführende Studien am Kontrollsystem des ATLAS-Pixeldetektor*“, Diplomarbeit, Universität Wuppertal, WU D 01-09, November 2001
- [35] M. Imhäuser et al., „*The Control System for the ATLAS Pixeldetektor*“, IEEE Transactions on Nuclear Science, Volumen 51, Seite 502-507, Juni 2004
- [36] R. Hart, V. Khomoutnikov, „*ATLAS DAQ-DCS Communication Software, High Level Design*“, Version 2.1, internes Dokument, CERN, 17. Mai 2001
- [37] V. Khomoutnikov et al., „*Interaction DAQ Run Control - DCS*“, CERN, ATLAS Internal Working Note DCS-IWN22, Mai 04
- [38] I. Soloviev, „*User's Guide Configuration Databases*“, ATLAS DAQ Technical Note 135, CERN, 03. März 2002
- [39] Private Korrespondenz mit James Cook, ATLAS DCS
- [40] V. Khomoutnikov, „*ATLAS DAQ-DCS Communication Software, User's Guide*“, Draft 4.1, internes Dokument, CERN, 17. März 2004
- [41] R. Hawkings, T. Wenaus „*ATLAS conditions database deployment - requirements and first ideas*“, Draft 0.02, internes Dokument, CERN, März 2005

- 
- [42] M. Olcese et al., „*Requirements for Pixel Detector Services*“, Revision 7.2, CERN ATL-IP-ES-0007, November 2004
- [43] D. Burckhart, M. Caprini, M. Dobson, J. FLammer, A. Kazarov, S. Kolos, D. Liko, I. Soloviev, L. Lucio, L. Pedro, „*Large Scale Performance Tests January 2003*“, CERN ATL-DQ-TR-0012, Juni 2003
- [44] DIM Homepage  
<http://dim.web.cern.ch/dim/>
- [45] A. Amorim et al., „*Specifications of the interface between the ATLAS Detector Control to the ConditionsDatabases*“, internes Dokument, CERN, 21. Februar 2005
- [46] R. Hawkings, T. Wenaus „*ATLAS online database - strategy and evolution*“, Draft 0.02, internes Dokument, CERN, 17. September 2005
- [47] N. Gaspar et al., „*Exporting internal PVSS databases*“, CERN, ATLAS Internal Working Note DCS-IWN18, 21. März 2002
- [48] A. Amorim, „*Experience with the Open Source based implementation for ATLAS Conditiond Data Management System*“, Computing in High Energy and Nuclear Physics, La Jolla, Kalifornien, 24. bis 28. März 2003
- [49] M. Imhäuser, „*Proposal ATLAS Pixel DCS plans for Testbeam and Combined Testbeam*“, internes Dokument, Wuppertal, 01. Juni 2004
- [50] A. Amorim et al., „*Manual for the extended ConditionsDB interface for ATLAS*“, 07. Mai 2003  
[kdataserv.fis.fc.ul.pt/ATLAS/presentations/extended-CondDB-Manual.pdf](http://kdataserv.fis.fc.ul.pt/ATLAS/presentations/extended-CondDB-Manual.pdf)
- [51] MySQL AB Homepage,  
<http://www.mysql.com>
- [52] Private Korrespondenz mit P. Ferrari, Inner Detector DCS
- [53] H. Boterenbrood, „*CANopen Application Software for the ELMB128*“, Version 2.2, NIKHEF, Amsterdam, 13. Januar 2005
- [54] J. Cook, „*Conditions Database for PVSS, Installation and Users Guide*“, Version 1.5, CERN TLAS-DQ-ON-0009, Dezember 2005
- [55] G. Coughlan, J. Dodd, „*Elementarteilchen*“, Verlag Vieweg, 1. Auflage, 1996

- [56] B. Di Girolamo, M. Gallas, T. Koffas, „*ATLAS Barrel Combined Run in 2004 – Test Beam Setup and its evolutions*“, CERN ATC-TT-IN-0001, 12. Februar 2005
- [57] I. Reisinger, „*Spatial and vertex resolution studies on the ATLAS Pixel Detector based on Combined Testbeam 2004 data*“, Diplomarbeit, Universität Dortmund, Februar 2006
- [58] ATLAS Computing Collaboration, „*ATLAS Computing, Technical Design Report*“, ATLAS TDR-017, CERN-LHCC-2005-022CERN/LHCC/99-14, 04. Juli 2005
- [59] X. N. Wang and M. Gyulassy, „*HIJING: A Monte Carlo model for multiple jet production in pp, pA and AA collisions*“, Phys. Rev. D44, 3501, 1992
- [60] ATLAS Inner Detector Community, „*Inner Detector, Technical Design Report, Volume 1*“, CERN/LHCC/97-16, 30. April 1997
- [61] Inner Detector Software Wikipage,  
<https://uimon.cern.ch/twiki/bin/view/Atlas/InnerDetectorSoftware>
- [62] J. Damet, G. F. Tartarelli, „*K0s reconstruction in the ATLAS Inner Detector*“, CERN ATL-COM-INDET-2006-004, 28. Oktober 1999
- [63] The ATLAS UK Computing Project Homepage  
<http://www.gridpp.ac.uk/atlas/Computing/WP2>



# Abkürzungsverzeichnis

## A

ADC ..... **A**nalog **D**igital **C**onverter, Seite 42  
ALICE..... **A** **L**arge **I**on **C**ollider **E**xperiment, Seite 13  
API..... **A**pplication **P**rogramming **I**nterfaces, Seite 54  
ATLAS ..... **A** **T**oroidal **L**H**C** **A**pparatu**S**, Seite 13

## B

BBIM..... **B**uilding **B**lock **I**nterlock **M**onitoring, Seite 50  
BBM ..... **B**uilding **B**lock **M**onitoring, Seite 50  
BOC..... **B**ack of **C**rate **K**arte, Seite 24

## C

CAN ..... **C**ontroller **A**rea **N**etwork, Seite 43  
CMS ..... **C**ompact **M**uon **S**olenoid, Seite 13  
COOL..... **C**onditions **O**bjects for **L**H**C**, Seite 144

## D

DAC ..... **D**igital **A**nalog **C**onverter, Seite 43  
DAQ ..... **D**ata **A**cquisition, Seite 27  
DCS ..... **D**etector **C**ontrol **S**ystem, Seite 37  
DDC ..... **D**AQ-**D**CS **C**ommunication, Seite 77  
DORIC ..... **D**igital **O**pto **R**eceiver **I**C, Seite 24  
DP ..... **D**atenpunkt, Seite 56  
DPE..... **D**atenpunktelement, Seite 56  
DPT ..... **D**atenpunkttyp, Seite 56  
DSS..... **D**etector **S**afety **S**ystem, Seite 41

## E

ELMB ..... **E**mbedded **L**ocal **M**onitor **B**oard, Seite 42  
ERS ..... **E**rror **R**eporting **S**ervice, Seite 31

## F

FIT ..... **F**rontend **I**ntegration **T**ool, Seite 57  
FSM ..... **F**inite **S**tate **M**achine, Seite 61

## G

- GCS ..... **Global Control Station**, Seite 39
- I
- IOV ..... **Interval Of Validity**, Seite 117
- IS ..... **Information Service**, Seite 30
- J
- JCOP ..... **Joint COntrols PRoject**, Seite 54
- L
- LCS ..... **Local Control Station**, Seite 39
- LEP ..... **Large Electon Positron Collider**, Seite 11
- LHC ..... **Large Hadron Collider**, Seite 11
- LHCb ..... **Large Hadron Collider b**, Seite 13
- M
- MCC ..... **Module Controller Chip**, Seite 23
- N
- NTC ..... **Negative Temperature Coeffizient**, Seite 41
- P
- PIN ..... **Positive Intrinsic Negative Diode**, Seite 24
- PVSS II ..... **Prozessvisualisierungs- und Steuerungssystem**, Seite 54
- R
- RC ..... **Run Control**, Seite 77
- ROB ..... **Readout Buffer**, Seite 26
- ROD ..... **Readout Driver**, Seite 24
- S
- SC-OLink ..... **Supply and Control for the Opto Link**, Seite 47
- SCADA ..... **Supervisory Control And Data Acquisition**, Seite 54
- SCS ..... **Subdetector Control Station**, Seite 39
- SCT ..... **Semiconductor Tracker**, Seite 21
- SIT ..... **System Integration Tool**, Seite 67
- SQL ..... **Structured Query Language**, Seite 116
- T
- TDAQ ATLAS Trigger, Datenacquisition und Detektorkontrollsystem, Seite 28
- TRT ..... **Transition Radiation Tracker**, Seite 20
- TTC ..... **Timing, Trigger and Control**, Seite 32
- V
- VCSEL ..... **Vertical Cavity Surface Emitting Laser**, Seite 24
- VDC ..... **VCSEL Driver Chip**, Seite 24