



Entwicklung und Einführung der Qualitätssicherung für die CBM TRD-Modulproduktion

DEVELOPMENT AND INTRODUCTION OF THE QUALITY ASSURANCE
FOR THE CBM TRD MODULE PRODUCTION

BACHELORARBEIT

Kristin Nissen

Westfälische Wilhelms-Universität
Institut für Kernphysik
Arbeitsgruppe Andronic/Klein-Bösing

Erstgutachter: Prof. Dr. Anton Andronic
Zweitgutachter: Prof. Dr. Christian Klein-Bösing

Münster, September 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Experimenteller Hintergrund	3
2.1	Übergangsstrahlung	3
2.2	Vieldraht-Proportionalkammer	4
2.3	CBM-TRD-Kammer	5
2.3.1	Aufbau und Komponenten	5
2.3.2	Funktionsweise	6
3	Qualitätssicherung im Modulbau	9
3.1	Erfasste Komponenten-Eigenschaften	9
3.1.1	Backpanel	10
3.1.2	Eintrittsfenster	11
3.1.3	Modul	12
3.2	Produktionsprozess des Eintrittsfensters	13
3.2.1	Fensterrahmen	13
3.2.2	Folie spannen	15
3.2.3	Fenster verkleben	16
3.3	Qualitätssicherung der Module	18
3.3.1	Mechanische Präzision	18
3.3.2	Gasdichtigkeit	19
3.3.3	Stabilität bei Hochspannung	19
3.3.4	Gain-Scan	19
4	Datenbank für den CBM-TRD	23
4.1	Aufbau und Möglichkeiten der Component Database	23
4.2	Datenbankschema mit Informationen für den CBM-TRD	26
4.3	Verwendung der Datenbank	30
5	Zusammenfassung und Ausblick	33
A	Anhang	35
	Literatur	37

1 Einführung

Das *Compressed Baryonic Matter* (CBM)-Experiment entsteht aktuell am FAIR-Beschleunigerkomplex in Darmstadt. Ziel des Experiments ist es, das Phasendiagramm für Kernmaterie bei sehr hohen Energiedichten zu untersuchen. Hierfür werden unter anderem Protonen oder Schwerionen im SIS100-Synchrotron beschleunigt und mit einem *Fixed Target* kollidiert. Die bei der Kollision erzeugten Teilchen beziehungsweise ihre Zerfallsprodukte passieren die verschiedenen Detektoren des CBM-Experiments. Mit Hilfe der gemessenen Daten sollen neue Erkenntnisse über das Quark-Gluon-Plasma gewonnen werden. In diesem liegen die Quarks und Gluonen nicht mehr in Nukleonen gebunden vor [And21].

Die Subdetektoren des Experiments dienen unter anderem der Teilchenbahnrekonstruktion nach den Kollisionen, als auch der Identifikation der Teilchen. Der *Transition Radiation Detector* (TRD) unterstützt einerseits die Lokalisierung der Teilchen, sowie die Identifikation von Elektronen und Positronen durch ihre Übergangsstrahlung [Col18].

Das Ziel dieser Arbeit ist es, für die Produktion der Detektormodule des CBM-TRDs eine Prozedur für die Qualitätssicherung zu entwickeln und deren Anwendung zu dokumentieren. Hierfür werden zunächst die Eigenschaften und Prüfwerte der Komponenten der Module eingeführt. Die *Component Database* des CBM-Experiments wird anschließend auf ihre Eignung zur Dokumentation dieser Werte überprüft und die mögliche Verwendung dargestellt.

2 Experimenteller Hintergrund

Für die Qualitätssicherung der CBM-TRD-Modulproduktion ist die Funktionsweise und der Aufbau der CBM-TRD-Kammern essenziell. Im folgenden wird zunächst die Übergangsstrahlung eingeführt, welche grundlegend für die Messung mit dem Detektor ist. Die TRD-Kammern sind Vieldraht-Proportionalkammern (MWPC), für welche der Allgemeinfall anschließend kurz dargestellt werden soll. Zum vollständigen Verständnis der darauf folgenden Schritte und Prozesse der Qualitätssicherung wird dann der spezielle Aufbau der MWPC des CBM-TRD erklärt.

2.1 Übergangsstrahlung

Für die Wechselwirkung zwischen einem geladenen Teilchen und Materie kommen verschiedene Effekte in Frage. Die Übergangsstrahlung entsteht beim Passieren der Grenzfläche zwischen zwei Bereichen mit unterschiedlicher Dielektrizitätskonstante ϵ . Die Entstehung des Übergangsstrahlungsphotons kann man sich folgendermaßen vorstellen. Ein geladenes Teilchen erzeugt beim Annähern an ein anderes Medium eine Spiegelladung in diesem. Diese bildet gemeinsam mit dem geladenen Teilchen einen Dipol mit veränderlicher Feldstärke, da sich das Teilchen der Grenzfläche immer weiter annähert. Hierbei entstehen Photonen, die sogenannte Übergangsstrahlung. Wenn das Teilchen die Grenzfläche passiert verschwindet dieser Dipol [Sch98]. In Wirklichkeit ist dieser Prozess ein statistischer Prozess, tritt also nicht bei jedem Teilchen und jedem Übergang auf [AW12]. Die Energie der Übergangsstrahlung bei einem Übergang hängt von der Differenz der Dielektrizitätskonstanten und dem relativistischen Lorentzfaktor des Teilchens ab. Die beim Übergang abgestrahlte Leistung W ergibt sich mit Gleichung (2.1) [Sch98].

$$W = \frac{\alpha \hbar}{3} \frac{(\omega_1 - \omega_2)^2}{\omega_1 + \omega_2} \cdot \gamma \quad (2.1)$$

Dabei steht $\alpha \approx 1/137$ für die Feinstrukturkonstante und \hbar für das Planck'sche Wirkungsquantum. ω_1 und ω_2 sind die Plasmafrequenzen der Medien, welche sich aus den jeweiligen Dielektrizitätskonstanten ϵ_1 und ϵ_2 ergeben und $\gamma = E/mc^2$ ist der Lorentzfaktor des Teilchens [Sch98]. Für gegebene Materialeigenschaften hängt die abgestrahlte Leistung somit

allein von γ ab. Mit $\gamma = p/mv$ folgt, dass Teilchen mit dem gleichen Impuls aber verschiedenen Massen unterschiedlich viel Leistung abstrahlen.

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Teilchen Übergangsstrahlung produziert, hängt auch vom Lorentzfaktor ab. Erst ab einem Wert von $\gamma \approx 1000$ wird Übergangsstrahlung produziert [AW12]. Dies wird für die TRD-Kammern ausgenutzt, um Elektronen und Hadronen zu unterscheiden, die dieselbe Ladung, aber verschiedene Massen und daher Lorentzfaktoren besitzen [AW12].

2.2 Vieldraht-Proportionalkammer

Eine generelle Vieldraht-Proportionalkammer funktioniert nach dem Prinzip eines Proportionalzählrohrs, welches auf eine Fläche übertragen wurde. Die Anodendrähte der MWPC sind hierbei nebeneinander angeordnet.

Auf Grund des vorherrschenden elektrischen Feldes werden die Elektronen aus den primären Ionisationen beschleunigt und gewinnen daher genug Energie, um weitere Atome des Detektorgases zu ionisieren [RRB08]. Somit kommt das Signal eines geladenen Teilchens als Ladungslawine am Anodendraht an, dessen Stärke von der Größe des elektrischen Feldes und von der Ionisationsenergie des Zählgas abhängt. Für die Proportionalkammer ist dieser Verstärkungsfaktor der primären Ionisation konstant und somit die gemessene Spannung proportional zur primären Ionisation in der Kammer [Kle92]. Dieser Effekt setzt voraus, dass der Einfluss der Ladungslawine auf das elektrische Feld in der Kammer vernachlässigbar ist gegenüber dem Feld des Drahtes [RRB08].

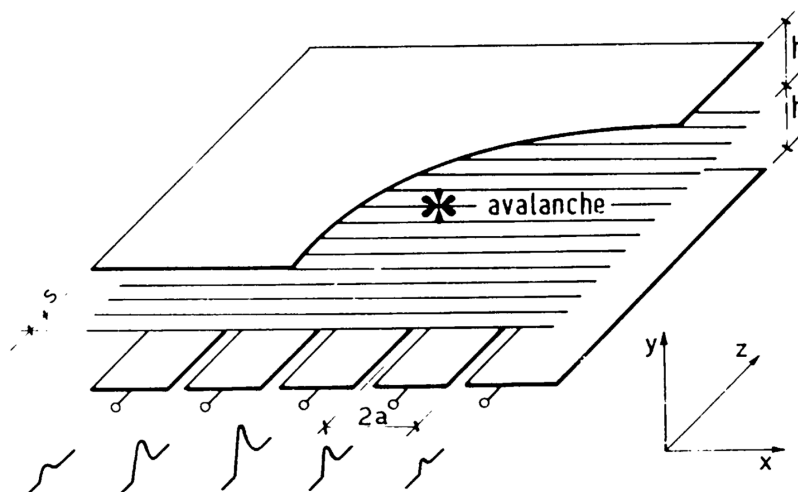


Abbildung 2.1: In einer Vieldraht-Proportionalkammer trifft eine Ladungslawine auf einen Anodendraht. Die gemessene Verteilung der induzierten Ladung in den Kathodenstreifen ist dargestellt [RRB08].

Die Ortsauflösung der Kammer kann folgendermaßen mit Hilfe einer Kathodenebene verbessert werden. Die Ladungslawine am Anodendraht induziert eine Spiegelladung in der Kathodenebene, welche gleichermaßen aus Streifen aufgebaut ist, wie in Abbildung 2.1 dargestellt. Diese sind jedoch orthogonal zu den Anodendrähten ausgerichtet und so kann bei gleichzeitiger Messung in beiden Ebenen die Position der Lawine und somit der primären Ionisation in der Fläche bestimmt werden [Kle92].

2.3 CBM-TRD-Kammer

2.3.1 Aufbau und Komponenten

Die wesentlichen Komponenten der CBM-TRD-Kammer sind das Backpanel, die Drahtebenen und das Eintrittsfenster. Eine Explosionsansicht der einzelnen Ebenen ist in Abbildung 2.2 zu sehen.

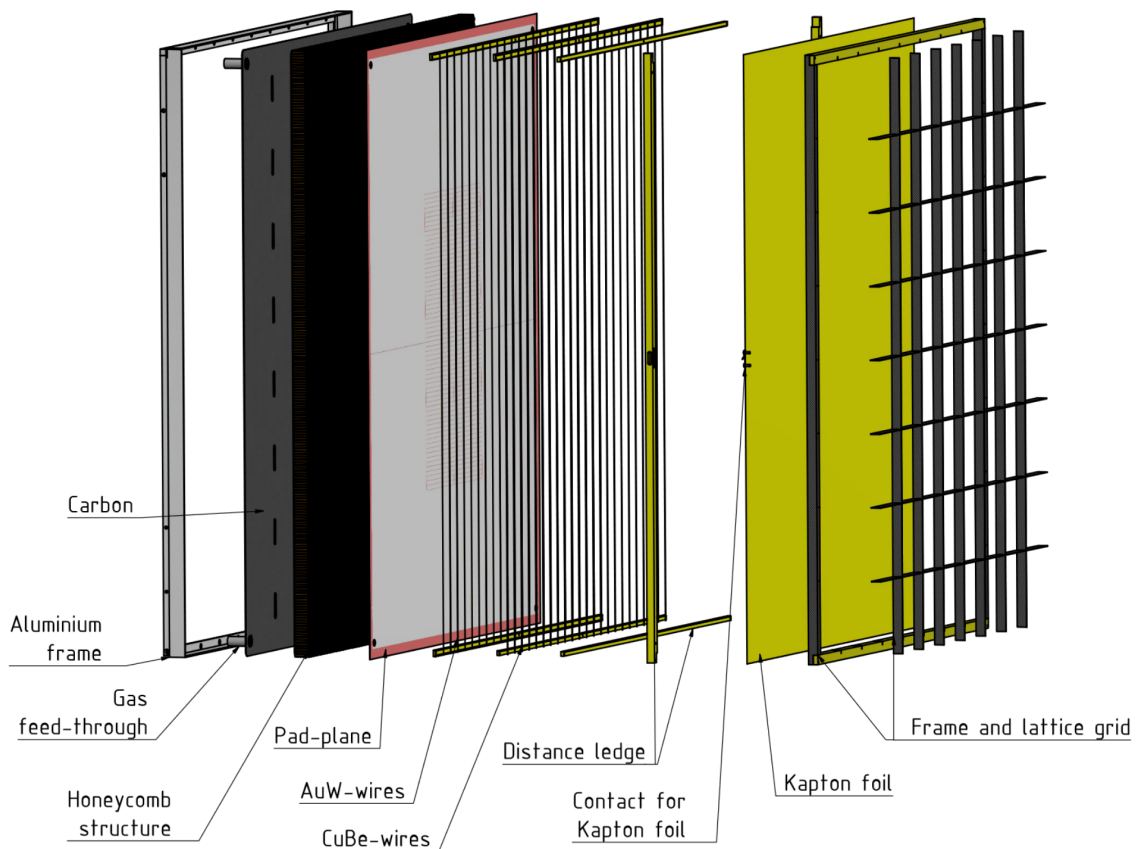


Abbildung 2.2: Die verschiedenen Ebenen einer CBM-TRD-Kammer sind in einer Explosionsansicht dargestellt [Col18].

Die erste Komponente, auf die ein Teilchen beim Passieren des Detektors trifft, ist der Radiator. Anschließend tritt das Teilchen durch das Folieneintrittsfenster in das Gasvolumen des Detektors ein. Das Eintrittsfenster ist hierbei auf einem Fiberglasrahmen außen aufgeklebt. Innerhalb des Fiberglasrahmens ist ein Gitter aus Carbonleisten eingesetzt. Dieses dient dazu, die Auswölbung der Folie auf Grund des Druckunterschieds in der Kammer zum Umgebungsdruck zu minimieren und trägt auch zur generellen Stabilität des Fensters bei. Die Struktur ist für geringen relativen Unter- und Überdruck von -1 mBar bis 2 mBar ausgelegt [And+21].

Die rückwärtig aufgebrachte Folie auf dem Fensterrahmen ist eine aluminiumbeschichtete Kaptonfolie, wobei die beschichtete Seite zum Detektorvolumen hin zeigt. An die Aluminiumseite wird im Messbetrieb eine negative Spannung von 500 V [Col18] angelegt.

Darauf folgend, in einem Abstand von 5 mm, befindet sich die erste Drahtebene mit Kathodendrahten. Diese haben eine Spannung von 0 V und der Abstand zwischen den einzelnen Drähten beträgt $2,5$ mm. Daran anschließend liegt die Anodendrahtebene. Auch diese Drähte haben jeweils einen Abstand von $2,5$ mm und liegen $3,5$ mm hinter der Kathodendrahtebene. Auf den Anodendrahten ist eine Spannung von 1850 V beziehungsweise 1800 V, je nach Detektorgas, angelegt [Col18].

Die Begrenzung des Gasvolumens auf der Rückseite des Detektors ist die Kathoden-Padplane, welche $3,5$ mm [Col18] hinter den Anodendrahten liegt. Diese ist, je nach Modultype, in unterschiedlich viele einzelne Pads unterteilt, die einzeln ausgelesen werden können.

Hinter dem Gasvolumen folgen das Honeycomb-Gitter, eine Carbon-Platte und der Aluminiumrahmen, welche für zusätzliche Stabilität der Kammer sorgen.

2.3.2 Funktionsweise

Eine der Hauptaufgaben des TRD ist die Unterscheidung von Elektronen und Pionen, welche die gleiche Ladung haben. Jedoch hat das Pion ($m_\pi \approx 140$ MeV [Par21a]) eine größere Ruhemasse als das Elektron ($m_e \approx 0,51$ MeV [Par21b]). Aufgrund dieses Unterschieds produzieren nur Elektronen mit großer Wahrscheinlichkeit Übergangsstrahlung im Radiator. Der Radiator ist ein Material mit vielen Übergängen zwischen Schichten mit unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten. Im Fall des CBM-TRDs ist eine Polyethylen-Schaumfolie vorgesehen [Col18].

Das Übergangsstrahlungsphoton und das Elektron treffen auf die Detektorkammer, wie in Abbildung 2.3 zu sehen. In dieser befindet sich ein Detektorgas (Xe/CO₂ (85/15) oder Ar/CO₂ (80/20) [Col18]), in welchem das Photon absorbiert wird und die resultierende Ionisation eines Gasatoms detektiert werden kann [Col18].

Das Pion und Elektron geben im Gasvolumen ebenfalls Energie ab und ionisieren Atome

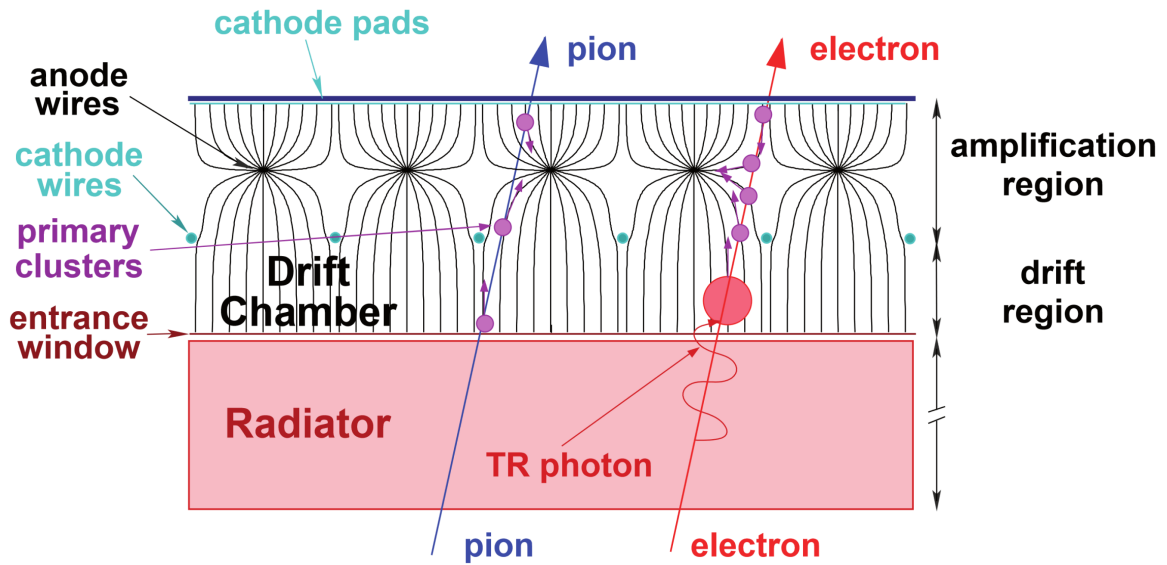


Abbildung 2.3: Einer der Unterschiede zwischen einem Elektron und Pion im Detektor ist, dass das Elektron im Radiator Übergangsstrahlung produziert, welche im Detektorgas absorbiert wird. Beide erzeugen Ladungen durch Ionisation von Gasatomen, welche zum Anodendraht driftet [Col18].

des Detektorgases. Die so frei gewordene Ladung driftet wie in Abschnitt 2.2 beschrieben zu den Anodendrähten. Die Anhäufung der Ladung am Anodendraht erzeugt auf den Kathodenpads eine Spiegelladung, welche gemessen wird und über die Elektronik des Detektors aufgenommen und ausgelesen wird. Wenn gleichzeitig auch die Energie eines Übergangsstrahlungsphotons gemessen wird, handelt es sich sehr wahrscheinlich um ein Elektron [AW12].

3 Qualitätssicherung im Modulbau

Ein CBM-TRD-Modul wird aus drei wesentlichen Teilen aufgebaut, die im Produktionsprozess zu einem Modul zusammengefügt werden. Diese Komponenten sind das Backpanel, die Drahtebene und das Eintrittsfenster. Sowohl für das fertige Modul als auch für das Backpanel und das Eintrittsfenster gibt es Eigenschaften, die während des Produktionsprozesses überprüft beziehungsweise vermessen und dokumentiert werden. Dies erfolgt im Rahmen der Qualitätssicherung und zur Speicherung der Werte für spätere Recherchen. Ferner spielen erfasste Werte eine Rolle im Messbetrieb mit den Modulen, so z.B. als Startwerte von Kalibrationen. Im Folgenden werden die Eigenschaften zunächst genannt (Tabelle 3.1) und motiviert. Anschließend wird der Prozess der Qualitätssicherung exemplarisch am Beispiel des Eintrittsfensters näher beschrieben. Die geplanten Tests, die mit den fertigen Kammern durchgeführt werden sollen, werden zum Schluss beschrieben.

3.1 Erfasste Komponenten-Eigenschaften

Die Eigenschaften des Backpanels, Eintrittsfensters und kompletten Moduls, welche für die Qualitätssicherung relevant sind, werden in einer Datenbank festgehalten. Diese wird in Kapitel 4 beschrieben. Der Aufbau der Datenbank folgt der, aufgrund des Bauprozesses naheliegenden, Unterteilung der Kammer in Backpanel, Eintrittsfenster und Modul. Die Eigenschaften der Drahtebene werden dem fertigen Modul zugeordnet, da diese erst beim Zusammenfügen der Komponenten zu einem Modul spezifisch angefertigt wird.

Tabelle 3.1: Eigenschaften der Komponenten für die Qualitätssicherung.

Komponente	Eigenschaften
Backpanel	<ul style="list-style-type: none"> · Elektrische Prüfung der Padplanes · Formtreue der Berührungskante der Padplanes · Außenmaße und Rechtwinkligkeit des Aluminiumrahmens · Höhe des Honeycombs zum Außenrahmen · Temperatur und Luftfeuchtigkeit beim Kleben · Position der Hochspannungs-Durchführung
Eintrittsfenster	<ul style="list-style-type: none"> · Außenmaße und Formtreue des Fiberglasrahmens · Temperatur und Luftfeuchtigkeit beim Kleben · Planarität des Fensterrahmens · Temperaturwert beim Spannen der Folie · Temperaturkurve beim Auskühlen des Streckrahmens · Elektrischer Kontakt zur Folie
Modul	<ul style="list-style-type: none"> · Spannung der Drähte auf dem Wickelrahmen · Positionierung der Drähte · Temperatur und Luftfeuchtigkeit beim Kleben · Drahtspannungen nach dem Verkleben

3.1.1 Backpanel

Die zu verbauenden Komponenten des Backpanels sind die Padplane, der Aluminiumrahmen und das Honeycomb-Gitter. Zunächst sollte eine *elektrische Durchgangsprüfung* an den Padplanes durchgeführt werden, mit Hilfe eines Durchgangsprüfers. Es wird überprüft, ob ein Kontakt hergestellt werden kann. Dieser Test wird voraussichtlich seitens des Herstellers durchgeführt, andernfalls nach Anlieferung im Institut. Der Kontakt ist essenziell für das Auslesen der Kammer. Ein Nichtbestehen, also ein nicht vorhandener Kontakt, verbietet die Verwendung der getesteten Padplane für den Backpanel-Bau.

Die *Berührungskanten der Padplane-Teile* sollten *dicht anliegen* und es sollten keine Lücken im Verlauf der Naht sichtbar sein. So wird die vorgesehene Geometrie der Kathoden-Pads garantiert, welche für die computergestützte Auslese der Ereignisse wichtig ist. Insbesondere ist sie aber auch für die Gasdichtigkeit der Kammer relevant, da die Padplane-Ebene eine der abschließenden Flächen des Gasvolumens darstellt.

Um die Formtreue des Rahmens zu überprüfen, welcher zur Konstruktion des Aluminiumrahmens verwendet wird, wird zu Beginn des Produktionsprozesses der Aluminiumrahmen an den Außenkanten und in der Diagonale vermessen. Die einzelnen Aluminiumleisten des

Rahmens werden zum Bau in einen Positionsrahmen eingespannt und so relativ zueinander positioniert. Wenn die Diagonalen gleich lang sind, garantiert dies die *Rechtwinkligkeit* bei *gleich langen Außenrahmenteilen*.

Außerdem wird am Anfang auch die *Höhe des Honeycombs zum Außenrahmen* überprüft. Das Honeycomb ist ein Gitter mit einer Honigwabenstruktur, welches für Stabilität im Backpanel sorgt und die mechanische Spannung, welche durch die Drähte in der Kammer aufgebaut werden, ausgleicht. Der Rahmen sollte an keiner Stelle höher liegen als das Honeycomb. Zur Überprüfung kann ein ebenes Gewicht verwendet werden, welches vorsichtig an den Rand des Honeycombs geschoben wird. Sollte es beim Übergang zum Rahmen an diesen anstoßen, ist dies auszubessern.

Zu Beginn und am Ende des Klebprozesses auf der Padplane wird sowohl die *Temperatur*, als auch die *Luftfeuchtigkeit im Raum* gemessen. Diese Werte beeinflussen den Aushärtungsprozess des Klebers. Zusätzlich wird auch die verwendete Klebstoffcharge nachgehalten, um später nachverfolgen zu können, welche Teile mit Kleber der gleichen Charge verklebt wurden. Dies dient der Rückverfolgbarkeit bei eventuellen späteren Problemen.

Die *Positionierung der Hochspannungs-Durchführungen* auf dem Rahmen wird überprüft, um die Orientierung aller Komponenten zueinander zu bestätigen.

3.1.2 Eintrittsfenster

Im Eintrittsfenster werden ein Fiberglasrahmen, Carbonleisten für das innere Sprossengitter des Fensters und aluminiumbeschichtete Kaptonfolie verbaut. Die *Außenmaße und Rechtwinkligkeit des Fiberglasrahmens* werden in analogem Verfahren zum Backpanel-Rahmen vermessen und für die ersten gefertigten Rahmen überprüft.

Beim Verkleben der Fiberglasrahmenteile wird die *Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Raum* gemessen, welche einen Einfluss auf die Aushärtung des Klebers haben. Diese werden zusätzlich gemessen, wenn die Carbonleisten mit dem Fiberglasrahmen und untereinander verklebt werden. Auch in diesem Fall wird die Klebstoffcharge für die Rückverfolgbarkeit des verwendeten Klebers festgehalten.

Die *Planarität des gesamten Fensterrahmens* wird auf einem ebenen Tisch mit Hilfe einer Lichtquelle überprüft. Sollte das Licht zwischen dem Tisch und dem Rahmen sichtbar sein, bedeutet dies, dass der Rahmen an dieser Stelle nicht vollständig auf dem Tisch aufliegt und somit nicht vollständig eben ist. Gegebenenfalls wäre die Vermessung solcher Schlitze durch das Einschieben einer Fühlerlehre möglich.

Um gleiche Folienspannung für alle Fenster gewährleisten zu können, wird auch der *Temperaturwert beim Spannen der Folie* auf dem Streckrahmen gemessen. Von diesem ausgehend

wird eine feste Temperaturdifferenz zum Strecken auf dem Plexiglasrahmen eingestellt. gleichermaßen zum Verkleben des Rahmens, wird beim Stempeln der Sprossenrahmens in Kleber die *Temperatur und Luftfeuchtigkeit* gemessen, sowie die Klebstoffcharge notiert.

Der gestempelte Fensterrahmen wird anschließend auf die gespannte Folie aufgebracht, für welche eine *Temperaturkurve* aufgenommen wird, ab dem Zeitpunkt, zu dem das Heizgerät eingeschaltet wird. Die Messung endet, wenn der Rahmen wieder auf Raumtemperatur herunter gekühlt ist.

Der *elektrische Kontakt zur Folie* nach Anbringen der entsprechenden Messingkontakte wird mit einer Durchgangsprüfung bestätigt.

3.1.3 Modul

Beim Zusammenbau des Backpanels und Eintrittsfensters werden auch die Drahtebenen mit in das Modul eingefügt. Diese werden nacheinander, vom Backpanel ausgehend, auf dieses geklebt. Die *Spannung der Drähte* wird bereits auf dem Wickelrahmen vermessen, um eine passende Spannung im Modul zu ermöglichen.

Die *Positionierung der Drähte* relativ zueinander erfolgt mit Hilfe einer Kammleiste. Die Verwendung der Kammleiste in diesem Schritt stellt die präzise Positionierung und die gleichmäßigen Abständen zwischen den einzelnen Drähten sicher. Danach wird die Drahtebene relativ zur Padplane positioniert. Dies ist für die spätere Auslese mit den Kathoden-Pads sehr wichtig, da die dort gemessene Ladung von der Ladung an den Drähten als Spiegelladung induziert wird.

Die *Temperatur und Luftfeuchtigkeit* wird, analog zum Backpanel und zum Eintrittsfenster, zu Beginn und zum Ende des Klebeprozesses gemessen und die *Klebstoffcharge* festgehalten. Dies ist relevant für die Aushärtung und somit die mechanischen Eigenschaften des Klebers in der späteren Verwendung.

Die *Drahtspannung* wird zusätzlich *nach dem Verkleben* der Drähte auf das Backpanel ein zweites Mal gemessen. Da diese Werte Auswirkungen auf den Messprozess im späteren Betrieb der Kammer haben. Die Spannung der Drähte lässt sich durch die Eigenfrequenz des jeweiligen Drahtes bestimmen. Hierfür werden die Drähte mit einem gezielten Druckluftstoß zum Schwingen angeregt und eine Photodiode nimmt die Frequenz, mit der der Draht schwingt, auf. Diese Eigenfrequenz ist über die Länge des Drahtes und die Spannung definiert und lässt somit Rückschlüsse auf die Spannung des Drahtes zu. Hierfür wurde eine Drahtspannungsprüfanlage erstellt, die diese Schritte für alle Drähte automatisch durchführt [Got05].

3.2 Produktionsprozess des Eintrittsfensters

Anhand der Produktion eines Eintrittsfensters wird im folgenden der Prozess der Qualitätssicherung für den Bau eines Fensters exemplarisch erläutert. Neben den oben beschriebenen Komponenten-Eigenschaften werden auch Schritte und Methoden beschrieben, die nicht für die weitere Rückverfolgbarkeit gespeichert werden, aber für die ordnungsgemäße Produktion der Fenster essenziell sind.

3.2.1 Fensterrahmen

Zunächst wird eine Schutzfolie auf den verwendeten Vakuumentisch gelegt, um diesen vor Kleberresten zu schützen. Weiterhin werden kleine Stifte an zwei Seiten in den Passlöchern des Tisches platziert, an welchen später die Fiberglasrahmentteile bündig angelegt werden, um sie in einem rechten Winkel zu positionieren. Die Stifte sind am unteren und linken Rand in Abbildung 3.1 erkennbar.

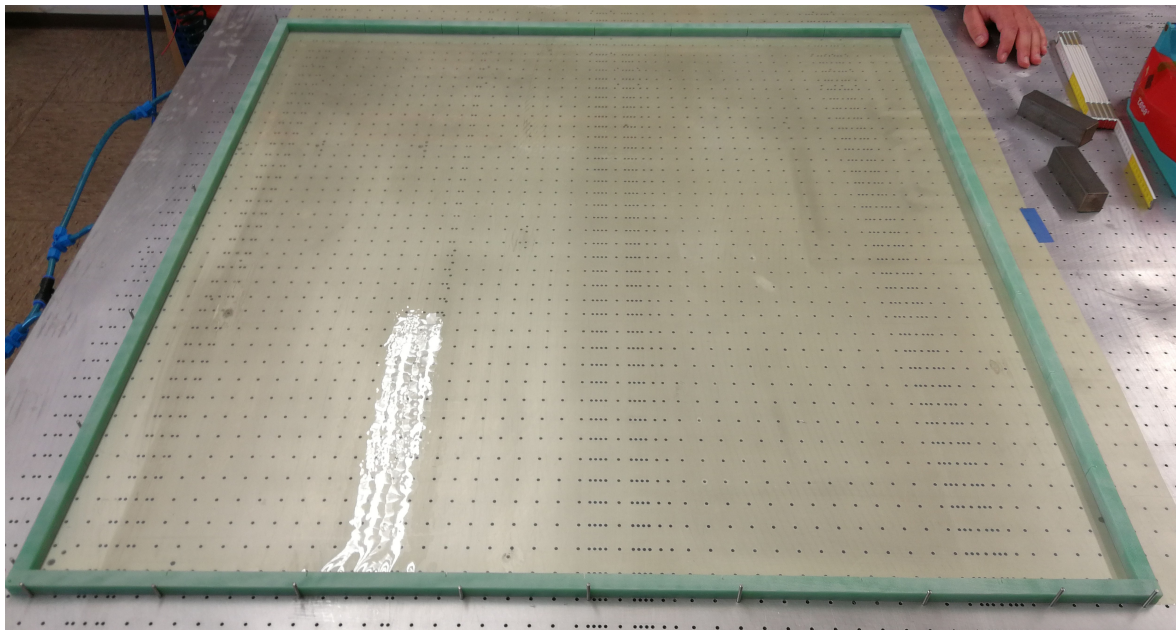


Abbildung 3.1: Zu sehen ist der Fiberglasrahmen (grün) auf einer Schutzfolie. Die linke sowie die untere Leiste liegen bündig an einer Reihe von Stiften an, um die Rechtwinkligkeit des gesamten Rahmens zu unterstützen. Die helle Struktur im Inneren des Rahmens ist die Spiegelung einer Deckenlampe.

Die Rechtwinkligkeit des Rahmens wird außerdem durch Stifte, die in die Bohrungen an den Ecken des Rahmens gesteckt werden, unterstützt, welche die vier einzelnen Rahmentteile bündig aufeinander halten. Dies ist beispielhaft in Abbildung 3.2 mit einer Metallschraube zu sehen. Zukünftig werden hierfür speziell angefertigte Stifte verwendet.

Zum Verkleben der Fiberglasrahmenteile werden diese in einem Rechteck platziert und die oben liegenden Teile so gedreht, dass ihre Kontaktflächen zu den unteren Teilen nach oben zeigen. Der im folgenden verwendete Kleber ist das Epoxidharz „Huntsman Araldite 2011“ [21].

Auf den Kontaktflächen aller Rahmenteile wird flächendeckend Kleber aufgebracht und die Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Raum wird gemessen. Die Teile werden wieder zu einem kompletten Rahmen zusammen gesetzt, bündig an die Stifte im Tisch angelegt und die Stifte in die Ecken gesetzt.

Der überlaufende Kleber an den Seiten wird mit einem Tuch entfernt. Kurz vor dem Ende der Verarbeitungszeit des Klebers (100 min für Huntsman Araldite 2011 [21]), werden die Stifte in den Ecken wieder entfernt, sodass die Löcher nach dem Aushärten des Klebers frei bleiben. Bei Bedarf können diese später noch nachgebohrt werden. Der Rahmen wird zum Aushärten des Klebers mit Gewichten belegt, damit die Planarität des Rahmens sichergestellt werden kann. Diese sind verteilt, wie auf dem grünen Rahmen in Abbildung 3.4 zu sehen.

In den Fiberglasrahmen werden die Carbonleisten eingesetzt. Auf diesen wird an den Kontaktpunkten mit dem Fiberglas und an den Kreuzungspunkten der einzelnen Leisten Kleber aufgebracht und mit einem kleinen Holzspatel an den Kanten der Kontaktpunkte verstrichen. Ein Kreuzungspunkt von zwei Carbonleisten mit aufgebrachtem Kleber ist in Abbildung 3.3 dargestellt.

Für den Aushärtungsprozess des Klebers werden Gewichte auf alle Kreuzungspunkten der

Carbonleisten, die Ecken des Fiberglasrahmens und in die Mitten der Fiberglasrahmenteile gelegt, wie in Abbildung 3.4 zu sehen ist. Die so erzeugte Kraft, welche auf die gesamte Fläche des Fensterrahmens wirkt, stellt auf dem ebenen Tisch die Planarität des Fensterträgers sicher.

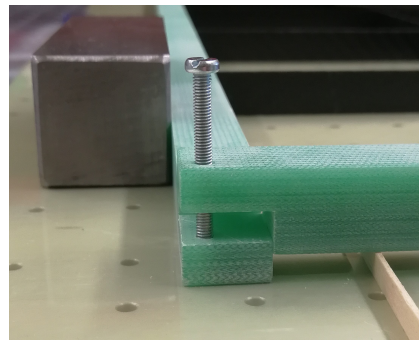


Abbildung 3.2: Ein Passstift wird durch die Passlöcher der Fiberglasrahmenteile an den Ecken gesteckt.

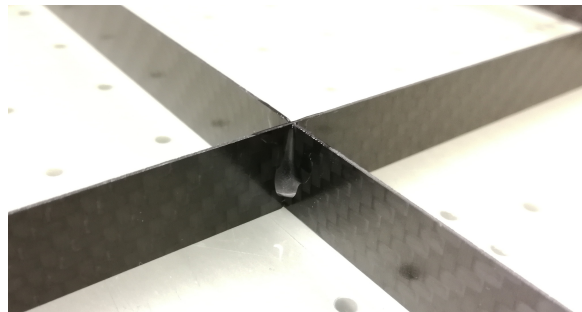


Abbildung 3.3: Zu sehen ist der Kontaktpunkt zwischen zwei Carbonleisten mit verlaufendem und ausgehärtetem Kleber.

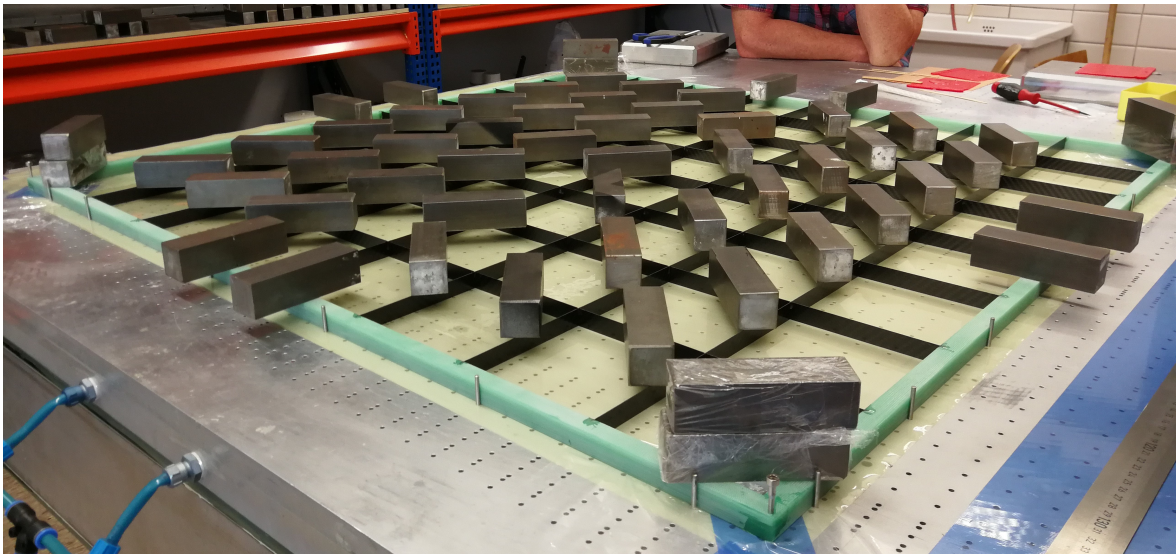


Abbildung 3.4: Verteilung der Gewichte auf dem verklebten Fiberglasrahmen und den Carbonleisten.

3.2.2 Folie spannen

Zunächst wird das äußere Rahmenteil des Plexiglasspannrahmens zur Seite gestellt. Der Spannrahmen wird mit Druckluft gereinigt, bevor die Kaptonfolie darauf gelegt wird. Staub und andere Unreinheiten auf dem Tisch können ansonsten zu Unebenheiten in der Kaptonfolie führen, wenn sie auf dem Spannrahmen gestreckt wird.

Die Folie wird von einer Abrollvorrichtung auf den Tisch zwischen die Schrauben des Plexiglassrahmens gerollt. An der Kante, über welche die Folie auf den Tisch geführt wird, befindet sich eine Schutzleiste, um die Folie vor den Schrauben und anderen scharfkantigen Metallobjekten zu schützen, die diese beschädigen können. Wenn das hintere Ende in knappem Abstand zu den Schrauben liegt, wird die Folie mit einer speziellen Schneidevorrichtung von der Rolle abgeschnitten.

Die vollständig passend zugeschnittene Folie wird anschließend vorsichtig mit rückstandsfrei ablösbarem Klebeband immer diagonal gegenüberliegend rundherum fixiert möglichst ohne die Folie zu spannen. Anschließend werden die Klebebänder nacheinander rundherum angehoben und iterativ langsam gespannt, bis die Folie glatt liegt, wie in Abbildung 3.5 erkennbar. Dies kann mehrere Durchgänge aller Klebebänder benötigen. Das äußere Rahmenteil des Plexiglasspannrahmens wird wieder auf den Spannrahmen geschraubt und alle Schrauben werden gleichmäßig angezogen. Zu Beginn des Spannens wird auch die Temperatur im Raum notiert, da diese Einfluss darauf hat, wie weit die Folie gestreckt wird, wenn der Spannrahmen erwärmt wird.

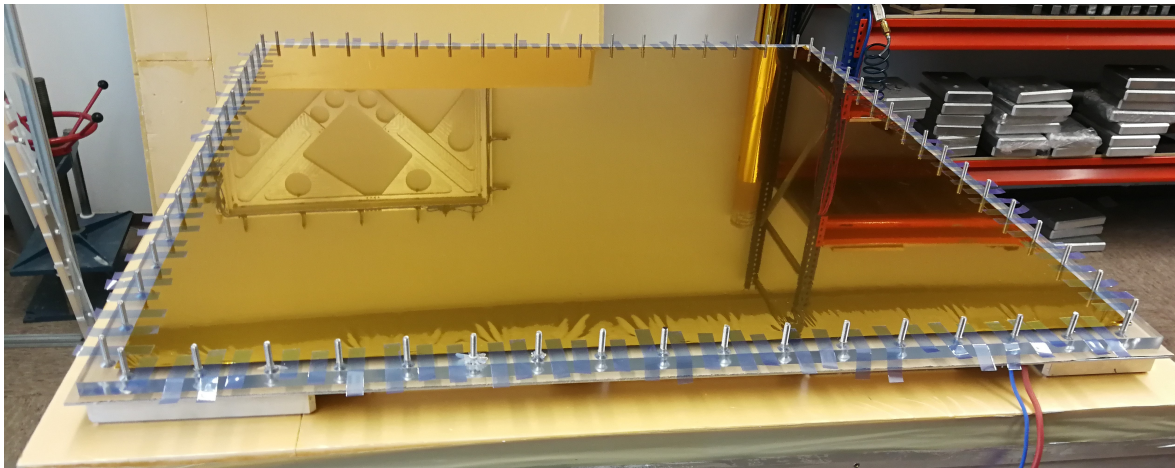


Abbildung 3.5: Die Folie ist auf dem Plexiglasspannrahmen gespannt. Der Rand der Folie ist mit rückstandsfrei ablösbarem Klebeband (blau) auf dem Tisch fixiert.

3.2.3 Fenster verkleben

Ein Temperaturmessgerät ist unter dem Plexiglasrahmen angebracht. Dieses wird eingeschaltet, sobald die Isolierhaube auf dem Plexiglas liegt und der Heizaufbau eingeschaltet wird. Das Temperaturmessgerät nimmt unter der Haube regelmäßig Werte auf bis, nach dem Kleben des Rahmens auf die Folie und dem Aushärten des Klebers, die Temperatur des Aufbaus wieder bei Raumtemperatur angelangt ist.

Zunächst wird jedoch, wenn das Plexiglas mit der gespannten Folie ihre eingestellte Maximaltemperatur erreicht hat, der Fensterrahmen in eine vorgefertigte Klebeschablone gelegt, so dass alle Flächen des Fensters, die später auf der Folie liegen, flächendeckend und gleichmäßig mit Kleber benetzt sind. Der Rahmen wird dann gerade von oben, auf die Folie gelegt, so dass beim Auflegen keine zusätzlichen Materialspannungen erzeugt werden. Der Fensterrahmen wird an den Ecken und in der Mitte des Fiberglasrahmens mit Gewichten beschwert und in der Mitte werden auf den Carbonleisten gleichmäßig fünf Gewichte verteilt, wie in Abbildung 3.7 zu sehen. Dies stellt bei der Ebenheit des Rahmens sicher, dass dieser an allen Stellen Kontakt zur Folie hat, sich die Leisten jedoch nicht zu stark in die Folie eindrücken und um den Einfluss auf die Struktur des elektrischen Feldes in der Kammer zu minimieren.

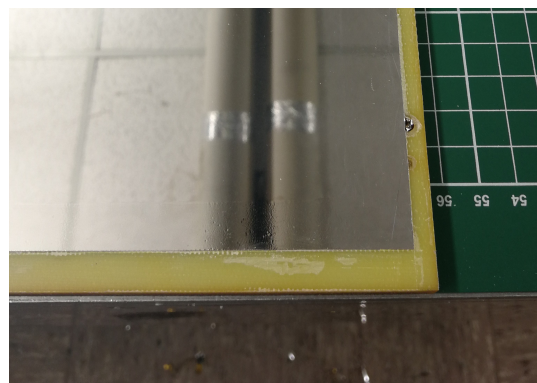


Abbildung 3.6: Die Folie wurde am Rand des Fiberglasrahmens entfernt, nachdem der Rahmen wieder abgekühlt ist. Die zwei sichtbaren Kanten sind verschieden weit auf dem Rahmen zurück geschnitten.

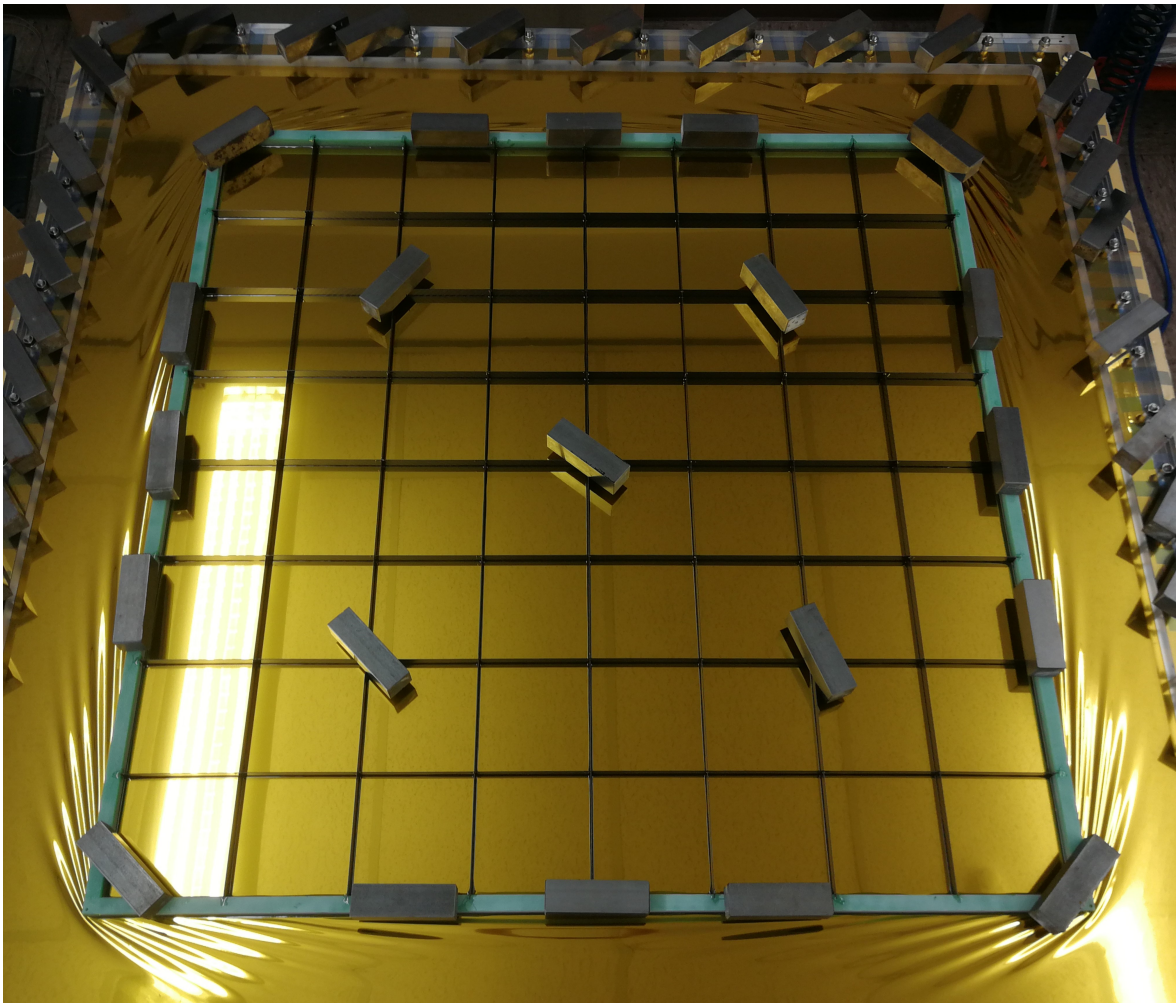


Abbildung 3.7: Die Gewichte sind auf dem Fensterrahmen verteilt, um seinen Kontakt zur Folie sicherzustellen. Der Fensterrahmen ist hier bereits abgekühlt und die Folie gespannt auf dem Rahmen verklebt, daher sind Falten außerhalb des Rahmens erkennbar. Der helle Streifen am Rand des Fensters ist die Reflexion einer Deckenlampe.

Vom abgekühlten Fenster werden die überstehenden Folienkanten mit überstehendem Kleber entfernt. Dies geschieht zunächst mit einem Stechbeitel möglichst nah am Fiberglasrahmen und anschließend werden 3 mm der Folie auf dem Rahmen wieder entfernt mit Hilfe eines Messers. Ein teilweise freigeschnittener Rahmen ist in Abbildung 3.6 dargestellt. An dieser Stelle geschieht später sowohl die Kontaktierung mit Hilfe einer Lasche für die elektrische Spannung auf der Folie, als auch die Verklebung mit dem Rest der Kammer. Die Lagerung der produzierten Eintrittsfenster erfolgt in speziell angefertigten Flightcases (Abbildung 3.8a), bis sie mit den Backpanels und den Drahtebenen zu einer vollständigen Kammer verbaut werden. Sie werden in den Boxen senkrecht gelagert und mit Abstandshaltern voneinander getrennt, wie in Abbildung 3.8b zu erkennen.



(a) Die Eintrittsfenster und Backpanel werden senkrecht in den Flightcases gelagert. Die Flightcases besitzen Rollen zum einfacheren Transport.



(b) In den Flightcases sind Abstandshalter angebracht um die einzelnen Eintrittsfenster und Backpanel voneinander zu trennen.

Abbildung 3.8: Die Flightcases werden zur Lagerung und zum sicheren Transport der Eintrittsfenster und Backpanel verwendet.

3.3 Qualitätssicherung der Module

Nach der Fertigstellung eines Moduls wird dieses auf seine physikalisch relevanten Eigenschaften für den Einsatz zur Teilchendetektion in CBM überprüft. Dies sind die mechanische Präzision, die Gasdichtigkeit, die Stabilität bei Hochspannung und ein Gain-Scan.

3.3.1 Mechanische Präzision

Im späteren Detektoraufbau beträgt der Platz zwischen zwei Kammern voraussichtlich 2 mm [KR20]. Aus diesem Grund ist die Präzision der Außenmaße der einzelnen Kammern sehr wichtig. Daher werden die Kammern in Höhe, Breite und Tiefe vermessen. Die Maße sollten hierbei für die Modultype 1 und 3 bei $57\text{ cm} \times 57\text{ cm}$ beziehungsweise für Modultype 5 und 7 bei $99\text{ cm} \times 99\text{ cm}$ liegen [Col18]. Sollte es bei der Vorserie zu Abweichungen vom Sollmaß kommen, die größer als $\pm 0,5\text{ mm}$ sind, muss der Produktionsprozess überprüft werden [KR20].

3.3.2 Gasdichtigkeit

Die Kammern der Vorserie und zufällige Kammern in der Hauptserie werden Gastests unterzogen, die vor allem die Gasdichtigkeit überprüfen um gegebenenfalls Lecks im Aufbau zu finden. Hierbei sollte besonders auf die Naht zwischen den Padplane-Teilen, sowie die Klebenähte geachtet werden. Für letztere sind vor allem die Dichtigkeit des Klebers und die generelle Verarbeitung ausschlaggebend. Diese Eigenschaften werden voraussichtlich mit Hilfe einer Unterdruckmessung der Kammern überprüft. Eine mögliche Messmethode wird aktuell entwickelt [Web].

Zusätzlich werden alle Kammern auf ihre generelle Gasdichtigkeit überprüft. Hierfür werden die Kammern mit Detektorgas (Ar/CO_2) befüllt und der O_2 -Gehalt parallel zum Gain-Scan gemessen [KR20]. Sollte der O_2 -Gehalt während der Messung ansteigen ist dies ein Hinweis darauf, dass die Kammer nicht komplett dicht ist und Sauerstoff von außen in die Kammer eindringt. Wenn dieser Test separat durchgeführt wird kann auch ein anderes Gas, wie N_2 verwendet werden, um den O_2 -Gehalt zu vermessen.

3.3.3 Stabilität bei Hochspannung

Der Detektoraufbau sieht im Messbetrieb vor, dass an der Kaptonfolie eine negative Hochspannung von 500 V anliegt und am Anodendraht eine positive Hochspannung von bis zu 1850 V [Col18]. Die Kammern sollen daher individuell auf Kriechströme überprüft werden, die durch die angelegten Hochspannungen entstehen können. Dies geschieht durch eine Langzeitmessung über 24 Stunden, in denen der Stromfluss gemessen wird und dieser auf Kriechströme untersucht wird, die im Bereich von maximal 100 nA liegen dürfen [KR20]. Zusätzlich ist auch eine Prüfung der beiden Hochspannungen etwa 20 % über den nominellen Wert hinaus vorgesehen.

3.3.4 Gain-Scan

Der Gas-Gain ist die Kenngröße, welche angibt wie stark die primäre Ionisation eines Atoms durch den Lawineneffekt verstärkt wird, bis sie auf der Kathoden-Padplane gemessen wird. Ein Gain-Scan wird für jede Kammer durchgeführt, um den Gas-Gain zu ermitteln, welcher anschließend als Startwert für Kalibrationen verwendet wird. Bei dieser Messung wird eine ^{55}Fe -Quelle eingesetzt, die als Photonenquelle genutzt wird. ^{55}Fe zerfällt über einen Elektroneneinfang zu ^{55}Mn mit einer Halbwertszeit von 2,737 Jahren. Dieses regt sich zu 60,1 % durch Aussenden eines Auger-Elektrons mit einer Energie von 5,19 keV ab. Für die Messung relevant ist die Abregung durch die Emission eines Photons. Dies geschieht mit einer Wahrscheinlichkeit von circa 28,4 % in Form eines Photons mit einer Energie von 5,96 keV. Diese

Werte ergeben sich, wenn die Energien und Wahrscheinlichkeiten für den K_{α_1} -, K_{α_2} - und K_{β} -Übergang [Bé+06] gemittelt werden.

Gain-Variation durch druckbedingte Folienfenster-Auswölbung

Die folgende Abschätzung dient der Beurteilung, welche Korrekturen bei Gain-Scans über ein, durch das Detektorgas ausgewölbtes, Folienfenster eventuell zusätzlich beachtet werden sollten. Der vom Gasfluss erzeugte Überdruck beeinflusst den Abstand des Fensters zur Quelle und kann sowohl die Photonenintensität verändern, als auch das Driftfeld innerhalb der Kammer. Zunächst wurde die erwartete Abstandsabhängigkeit von Photonen durch Luft berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3.9 gezeigt. Der Zusammenhang zwischen der Photonenintensität und dem Abstand ist exponentiell mit dem Massenschwächungskoeffizienten für Luft $\mu/\rho = 24,0844 \text{ cm}^2/\text{g}$ und der Dichte von Luft $\rho = 1,20479 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ [NIS21a]. Der Wert für μ/ρ ergibt sich durch eine lineare Interpolation zwischen den in [NIS21b] angegebenen Werten für $E_{ph} = 5 \text{ keV}$ und $E_{ph} = 6 \text{ keV}$ ausgewertet bei $E_{ph} = 5,96 \text{ keV}$, welche die Energie der emittierten Photonen der ^{55}Fe Quelle ist. Die Intensität weicht bei einem veränderten Abstand von 0,03 cm zwischen Quelle und Fenster um circa 0,09 % ab.

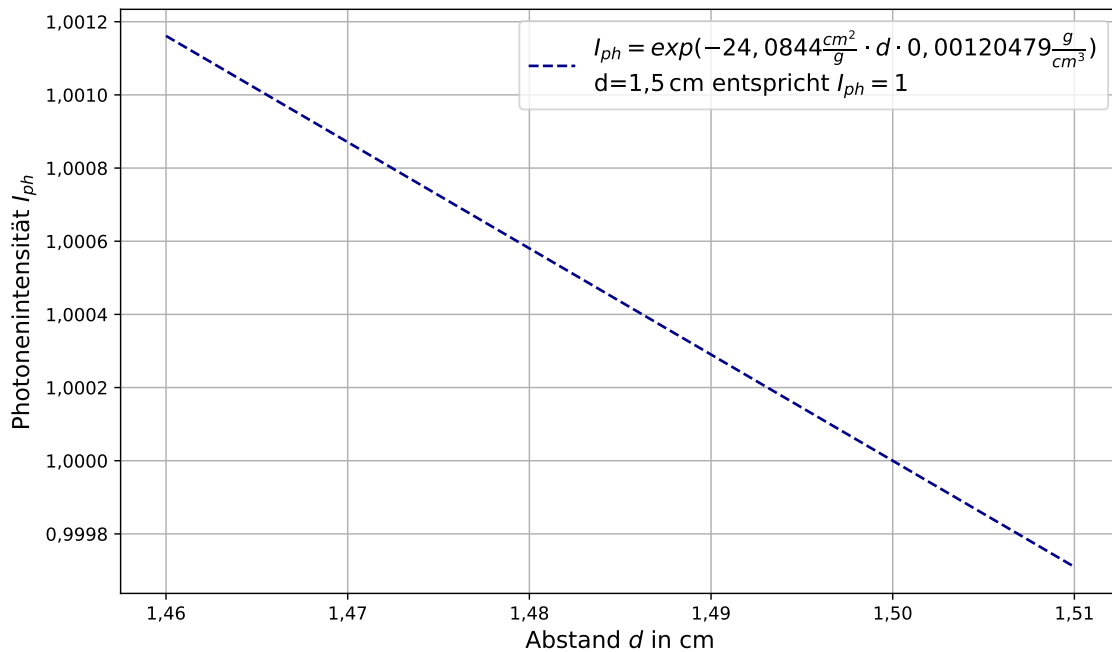


Abbildung 3.9: Dies ist die Verteilung der Intensität für die Absorption von Photonen in Luft. Die Intensität bei einem Abstand zwischen Quelle und Fenster von 1,5 cm ist als $I_{ph} = 1$ definiert.

Wenn man die Veränderung des Gains aufgrund der Änderung des elektrischen Feldes bei einer Auslenkung des Fensters um 0,03 cm betrachtet liegt diese im Bereich von 2 % [Col18], daher kann die Veränderung durch die Absorption der Photonen in Luft für die Betrachtung des Gain-Scans vernachlässigt werden.

4 Datenbank für den CBM-TRD

Die Messwerte und Prüfpunkte der Qualitätssicherung für das Backpanel, Eintrittsfenster und Modul sollen in einer Datenbank hinterlegt werden, um diese Informationen auch nach Fertigstellung der Produktion und im Messbetrieb weiterhin aufrufen zu können. Die aufgenommenen Werte werden einerseits als Startwerte für spätere Kalibrationen benötigt, andererseits aber auch, um den Produktionsprozess rekonstruieren zu können für eventuell später auftretende Auffälligkeiten und zeitliche Trends in der Produktion. Hierfür wird im folgenden Kapitel die *Component Database* vom CBM-Experiment [Lav20] auf ihre Möglichkeiten und Verwendbarkeit für den CBM-TRD-Detektor untersucht.

4.1 Aufbau und Möglichkeiten der Component Database

Die individuelle *CBM Component Database* lässt sich in einer Web-Anwendung konfigurieren. Es gibt die Möglichkeit, Klassen anzulegen, welche beispielsweise Komponenten eines Detektors oder auch andere feste Eigenschaften, wie Orte, sein können. Die entsprechende Oberfläche ist in Abbildung 4.1 zu sehen.

Die Klassen haben individuell einstellbare Eigenschaften. Die Standardeigenschaften sind eine ID, welche die Datenbank intern an die erstellten Klassenobjekte vergibt, sowie Zeitangaben zu dem Erstellungszeitpunkt und dem letztem Änderungszeitpunkt des Klassenobjekts. Zusätzlich zu diesen Eigenschaften können weitere Eigenschaften den Klassenobjekten zugeordnet werden, wie ein eigener Name oder ein Wert, der an dem Objekt vermessen und während der Benutzung der Datenbank eingetragen wird. In Abbildung 4.2 ist eine Liste mit verschiedenen Eigenschaften in der Web-Anwendung dargestellt. Die Eigenschaften können individuell benannt werden und können verschiedene Datentypen, wie *String*, *Integer* oder *Boolean* sein, aber auch komplexere Datentypen, wie *TGraph* sind möglich. An dieser Stelle kann für bestimmte Datentypen angegeben werden, ob die zugehörige Eigenschaft in der späteren Anwendung der Datenbank suchbar ist. Dies bedeutet, dass nach Objekten gesucht werden kann, die einen bestimmten Wert in dieser Eigenschaft haben, wie beispielsweise einen Ort.

TGenBase v1.4.22
 Class Generator - Project View

Project Name

TRDTest6

Open project

Save project

Generate Server

Generate Client

Project Classes

↑	Module	Edit	<div>+</div> <div>-</div>
↑	Backpanel	Edit	<div>+</div> <div>-</div>
↑	EntranceWindow	Edit	<div>+</div> <div>-</div>

Abbildung 4.1: In der Web Anwendung kann man zunächst verschiedene Klassen anlegen, wie in diesem Fall *Module*, *Backpanel* und *Entrance Window*.

TGenBase v1.4.22
 Class Generator - Class View

Back to Project View

Class Name

Module

Access options

☒

versioned

Dictionary Property

Name

Imported ROOT classes

+

Relations

↑	Has One	Backpanel	Backpanel	<div>+</div> <div>-</div>
↑	Has One	EntranceWindow	EntranceWindow	<div>+</div> <div>-</div>

Class Properties

↑	Id	Id	Integer	<input checked="" type="checkbox"/> <div>Searchable</div>	<div>+</div> <div>-</div>
↑	Name	Name	String	<input checked="" type="checkbox"/> <div>Searchable</div>	<div>+</div> <div>-</div>
↑	FAIRId	FAIRId	String	<input checked="" type="checkbox"/> <div>Searchable</div>	<div>+</div> <div>-</div>
↑	Location	Location	String	<input checked="" type="checkbox"/> <div>Searchable</div>	<div>+</div> <div>-</div>
↑	WireTensions	WireTensions	Double Vector	<input type="checkbox"/> <div>Searchable</div>	<div>+</div> <div>-</div>
↑	QAPassed	QAPassed	Boolean	<input type="checkbox"/> <div>Searchable</div>	<div>+</div> <div>-</div>
↑	CommentQA	CommentQA	String	<input type="checkbox"/> <div>Searchable</div>	<div>+</div> <div>-</div>
↑	CommentProduction	CommentProduction	String	<input type="checkbox"/> <div>Searchable</div>	<div>+</div> <div>-</div>
↑	CreatedAt	Created At	TimeStamp	<input checked="" type="checkbox"/> <div>Searchable</div>	<div>+</div> <div>-</div>
↑	UpdatedAt	Updated At	TimeStamp	<input checked="" type="checkbox"/> <div>Searchable</div>	<div>+</div> <div>-</div>

Static Data

+

Abbildung 4.2: Den Klassen können verschiedene Eigenschaften zugeordnet werden und verschiedene Relationen zu anderen Klassen.

Die Werte, die den Eigenschaften in der Verwendung der Datenbank zugeordnet werden, können verändert werden. Hierbei werden die neuen Werte in einer neueren Version des Klassenobjekts gespeichert. Die vorhergehende Version kann weiterhin in der Datenbank aufgerufen werden.

In den Klassen gibt es zusätzlich die Möglichkeit statische Eigenschaften zu definieren. Diese können, nachdem sie für ein Objekt definiert wurden, nicht mehr verändert werden. Außenmaße oder der Name könnten hier beispielsweise definiert werden, wenn sie sich nicht mehr ändern.

Weiterhin gibt es die Möglichkeit, Relationen zwischen verschiedenen Klassenobjekten zu erstellen. Diese können mit „ein Objekt einer anderen Klasse gehört zu einem Objekt aus dieser Klasse“, „mehrere Objekte aus einer anderen Klasse gehören zu einem Objekt aus dieser Klasse“ und „ein Objekt aus dieser Klasse gehört zu mehreren Objekten aus einer anderen Klasse“ beschrieben werden. Die Relationen sind in einem Schema in Abbildung 4.3 gezeigt. Die Eigenschaft, über die diese Relation auf der Benutzeroberfläche definiert wird, kann ebenfalls verändert werden. In der Struktur der Datenbank wird hierfür jedoch weiterhin die ID des Objektes verwendet.

Für die fertig konfigurierte Datenbank kann ein Server erstellt werden und mit Hilfe einer Auswahl aus einem C++-, Python-, Web- oder LabVIEW-Client aufgerufen und verwendet werden.

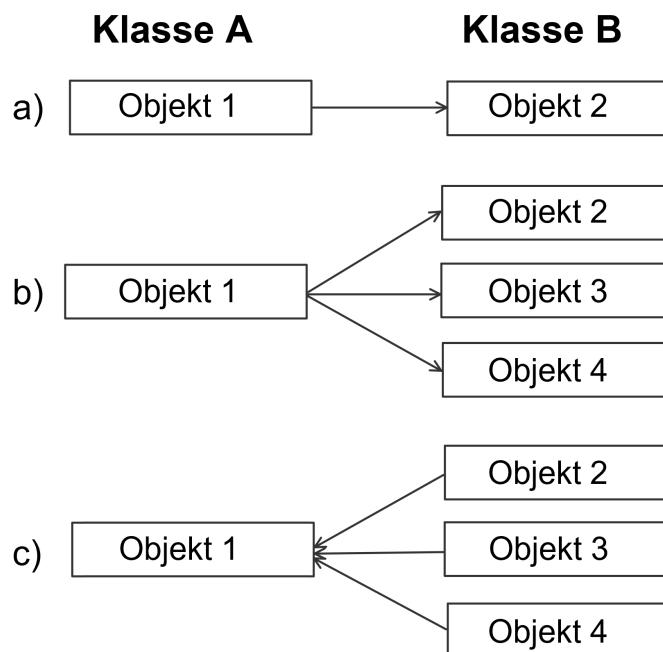


Abbildung 4.3: a) Objekt 1 aus Klasse A hat ein Objekt 2 aus Klasse B.
b) Objekt 1 aus Klasse A hat mehrere Objekte 2,3 und 4 aus Klasse B.
c) Objekt 1 aus Klasse A gehört zu mehreren Objekten 2,3 und 4 aus Klasse B.

4.2 Datenbankschema mit Informationen für den CBM-TRD

Das vorgesehene Schema der Datenbank orientiert sich am Produktionsprozess der Module. Das heißt, dass das Eintrittsfenster und das Backpanel jeweils als eigene Klasse betrachtet werden. Die Drahtebene, welche im Modul zwischen diesen beiden liegt, wird mit ihren Eigenschaften dem fertigen Modul zugeordnet, da beim Verkleben der Drahtebene auch die Kammer vervollständigt wird. Dies lässt sich auch über die Eigenschaft „Ort“ nachvollziehen. Da die Eintrittsfenster und die Backpanel separat transportiert werden können und sich somit an verschiedenen Orten befinden können, die Drahtebene jedoch ohne diese beiden nicht vermessen werden kann, gehört sie zum Gesamtmodul.

Es existieren somit die Klassen *Eintrittsfenster*, *Backpanel* und *Modul*. Die Relationen zwischen diesen sind, dass ein Modul ein Eintrittsfenster und ein Backpanel besitzt. Diese werden über die jeweilige Eigenschaft „Name“ definiert.

Tabelle 4.1: Eigenschaften mit dem jeweiligen Datenformat für das Backpanel.

Eigenschaft	Datenformat
Id	Integer
Name	String
Ort	String
Temperatur Beginn Kleben (°C)	Float
Luftfeuchtigkeit Beginn kleben (%)	Float
Temperatur Ende kleben (°C)	Float
Luftfeuchtigkeit Ende kleben (%)	Float
Klebstoffcharge	String
QA bestanden	Boolean
Kommentar QA	String
Kommentar Produktion	String
Erstellungszeitpunkt	TimeStamp
Änderungszeitpunkt	TimeStamp

Die Eigenschaften des **Backpanels** sind in Tabelle 4.1 aufgelistet. Die *Id* ist ein Integer, der von der Datenbank vergeben wird, wenn ein Objekt erstellt wird. Sie beginnt in jeder Klasse

mit 1 und zählt von dort aus hoch. Der *Name* wird vom Verwender der Datenbank vergeben und wird sich voraussichtlich an folgendem Schema orientieren:

B5-042

Hier steht das **B** für die Komponente, also in diesem Fall das Backpanel. Die **5** bezeichnet die Art der Komponente. Für das Backpanel kommen hier zunächst die Modultypen 3, 5 und 7 in Frage. Die drei Ziffern hinter dem Strich **042** sind hochzählend und beginnen mit 001, für das erste produzierte Backpanel. Darauf folgt der *Ort*, ein String, welcher den aktuellen Aufenthaltsort des Objektes enthält. Dieser wird fortlaufend aktualisiert, wenn das Objekt transportiert wird.

Die *Temperatur* und *Luftfeuchtigkeit* zu Beginn und Ende des Klebeprozesses wird jeweils in einem Float gespeichert, da es sich um eine Zahl mit Nachkommastellen handelt. Für die zugehörige *Klebercharge* wird der Datentyp String verwendet, da die Bezeichnung häufig Buchstaben und Zahlen enthält.

Ein Boolean wird für die Eigenschaft *QA bestanden* verwendet, um anzuzeigen, ob das Objekt die Prüfpunkte der Qualitätssicherung bestanden hat oder nicht. Zusätzlich gibt es hierzu noch einen *Kommentar zur QA*. In diesem können Anmerkungen zum Qualitätssicherungsprozess des Objektes in Form eines Strings gemacht werden. Anmerkungen zum Produktionsprozess können in der Eigenschaft *Kommentar Produktion* gemacht werden, ebenfalls in Form eines Strings.

Für den *Erstellungszeitpunkt* und letzten *Änderungszeitpunkt* des Objektes wird das Datenformat TimeStamp verwendet, welches ein UNIX Timestamp ist.

Tabelle 4.2: Eigenschaften mit dem jeweiligen Datenformat für das Eintrittsfenster.

Eigenschaft	Datenformat
Id	Integer
Name	String
Ort	String
Temperatur Rahmen kleben (°C)	Float
Luftfeuchtigkeit Rahmen kleben (%)	Float
Klebstoffcharge Rahmen	String
Temperatur Leisten kleben (°C)	Float
Luftfeuchtigkeit Leisten kleben (%)	Float
Klebstoffcharge Leisten	String
Temperatur Rahmen auf Folie (°C)	Float
Luftfeuchtigkeit Rahmen auf Folie (%)	Float
Klebstoffcharge Rahmen auf Folie	String
Temperatur Folie spannen (°C)	Float
Temperaturverlauf Fenster verkleben	TGraph2D
QA bestanden	Boolean
Kommentar QA	String
Kommentar Produktion	String
Erstellungszeitpunkt	TimeStamp
Änderungszeitpunkt	TimeStamp

Das **Eintrittsfenster** besitzt viele ähnliche Eigenschaften zum Backpanel, wie in Tabelle 4.2 zu sehen ist. Die Eigenschaft *Name* wird nach dem gleichen Schema wie das Backpanel definiert. Für das Eintrittsfenster beginnt diese mit **EW**, für *Entrance Window*, gefolgt von einer **1** oder **0**, je nachdem, ob es sich um einen großen (1) oder kleinen (0) Modultyp handelt. Die drei Ziffern hinter dem Bindestrich zählen während der Produktion weiterhin hoch von **001** an. Eine weitere Besonderheit des Eintrittsfensters ist die Eigenschaft *Temperaturverlauf Fenster verkleben*. Diese ist ein TGraph2D, welche den jeweiligen Zeitpunkt mit gemessener Temperatur und Luftfeuchtigkeit während des Aufheizens und Abkühlens des

Plexiglasspannrahmens beinhaltet. Das entsprechende Messgerät kann verschiedene Dateiformate ausgegeben, welche dann in dieses Format umgeschrieben werden.

Tabelle 4.3: Eigenschaften mit dem jeweiligen Datenformat für das Modul.

Eigenschaft	Datenformat
Id	Integer
Name	String
FAIRId	String
Ort	String
Temperatur Modul kleben (°C)	Float
Luftfeuchtigkeit Modul kleben (%)	Float
Klebstoffcharge	String
Drahtspannungen	2D Vector
QA bestanden	Boolean
Kommentar QA	String
Kommentar Produktion	String
Erstellungszeitpunkt	TimeStamp
Änderungszeitpunkt	TimeStamp

Auch für das **Modul** sind die meisten Eigenschaften äquivalent zum Backpanel und Eintrittsfenster. Der Name beginnt mit einem **M** und hat die möglichen Arten **3,5** und **7**, nach den Modultypen. Die abweichenden Eigenschaften in Tabelle 4.3 sind die *FAIRId*, eine Id vom Format eines Strings, die vom FAIR-Experiment zentral für die einzelnen Detektormodule vergeben wird. Außerdem sind auch die *Drahtspannungen* der Kammer in einem zwei-dimensionalen Vektor gespeichert, welcher die Position und zugehörige Spannung eines Drahtes beinhaltet.

Zusätzlich werden in der Datenbank die zugehörigen Relationen zum Eintrittsfenster und Backpanel etabliert. Es handelt sich hierbei, um die zuvor beschriebene Relation „ein Objekt einer anderen Klasse gehört zu einem Objekt dieser Klasse“ sowohl zur Klasse Eintrittsfenster, als auch zur Klasse Backpanel. Diese wird über den jeweiligen Namen der Komponente definiert.

4.3 Verwendung der Datenbank

Die Daten der Objekte müssen in vielen Fällen vom Bedienenden selbst in die Datenbank hinzugefügt werden. Hierfür werden die Werte zunächst während des Baus auf einem Dokumentationsblatt festgehalten und anschließend in die Datenbank übertragen. Vorlagen für die Formulare zum Backpanel und Eintrittsfenster sind im Anhang zu finden.

Die Oberfläche der Datenbank, in der man ein Eintrittsfenster erstellt, ist in Abbildung 4.5 zu sehen. Für ein Backpanel oder Modul ist die Oberfläche analog gestaltet, mit den jeweiligen abweichenden Eigenschaften.

Wenn beispielsweise ein neues Eintrittsfenster in der Datenbank angelegt wird, werden die ersten zwei Zeilen, mit *Id* und *ModuleId* zunächst übersprungen, da die *Id* automatisch vergeben wird und die zugehörige Relation vom Eintrittsfenster zum Modul wird mit dem Anlegen des Moduls etabliert.

Der *Name* ergibt sich wie in Abschnitt 4.2 beschrieben und wird vom Formular übertragen. Der Fensterrahmen sollte auch mit diesem Namen markiert werden, um es jeder Zeit dem passenden Formular zuordnen zu können.

Für den *Ort* wird der aktuelle Standort eingetragen. Sollte das Objekt transportiert werden, ist dies direkt nach der Ankunft am neuen Lagerort zu aktualisieren. Der Ort wird über die Stadt in der es sich befindet definiert, also mit Frankfurt, Muenster, Darmstadt oder Bukarest.

Die *Temperatur*- und *Luftfeuchtheitswerte* und die *Klebstoffcharge* werden während der Produktion ebenfalls im Formular eingetragen. Diese werden anschließend in die zugehörige Zeile in der Datenbank eingetragen. Es ist zu beachten, die Nachkommastellen mit einem Punkt anzugeben.

Falls es im Produktionsprozess oder in der Qualitätssicherung zu Unregelmäßigkeiten gekommen ist oder andere Anmerkungen zum Objekt gemacht werden, werden diese in die Felder *CommentQA* und *CommentProduction* eingetragen.

Der *Erstellungszeitpunkt* und der letzte *Änderungszeitpunkt* werden von der Datenbank automatisch angepasst, wenn ein bereits angelegtes Objekt verändert wird.

Nachdem die Komponenten in die Datenbank eingetragen sind, können sie auf verschiedene Arten aufgerufen werden. Die möglichen Anfragen an die Datenbank sind in Abbildung 4.4 zu sehen. Wenn beispielsweise im Betrieb des Detektors auffallen sollte, dass bei einem Teil der Kammern Probleme mit dem Kleber am Rahmen des Eintrittsfensters auftreten, könnte eine betroffene und eine nicht betroffene Kammer in der Datenbank aufgerufen werden. Beim Vergleich der Daten könnte dann auffallen, dass ein Rahmen bei einer Temperatur größer als 21 °C verklebt wurde und einer bei einer Temperatur kleiner als 21 °C.

In der Datenbank könnte nun eine Suchanfrage, nach allen Eintrittsfenstern, für die der Wert für *Temperatur Rahmen kleben* größer oder gleich 21 °C ist, gestellt werden. Die Datenbank zeigt anschließend alle Eintrittsfenster an, für die dies zutrifft. So könnten die in Frage kommenden Kammern ermittelt werden.

Gleichmaßen kann auch nach allen anderen suchbaren Eigenschaften eine Anfrage gestellt werden. Über die Taste „Get All“ können auch alle Eintrittsfenster aufgerufen werden. In der angezeigten Oberfläche sind ebenfalls alle Eigenschaften in der Zeile des jeweiligen Eintrittsfensters dargestellt und können direkt verglichen werden.

Die einzelnen Komponenten können auch aufgerufen werden, um Startwerte für Kalibrationen zu ermitteln, die sich teilweise aus den vermessenen Werten ergeben.

TRDTest6 Entrance Window

Entrance Window Workplace

Create New

Get All

Get By Id

Get All Versions

Custom Queries + -

New query

Where TemperatureFrameAssembly >= 21 + -

Execute Query

Property Getters

Get By Name

Get By Location

Get By GlueCharge

Get By CreatedAt

Get By UpdatedAt

Abbildung 4.4: Auf der Oberfläche der Datenbank kann man verschiedene Suchanfragen an die Datenbank stellen, welche die Objekte mit passenden Werten herausfiltert.

TRDTest6 Entrance Window - Get By Id

← Previous
Next →

Id

ModuleId
 →

Name

Location

TemperatureFrameAssembly

AirMoistureFrameAssembly

TemperatureCarbonLedgeAssembly

AirMoistureCarbonLedgesAssembly

GlueCharge

TemperatureClampFoil

QAPassed
☐

CommentQA

CommentProduction

CreatedAt

UpdatedAt

TemperatureFrameCooling

Save changes
Undo changes
Delete
Show all versions

Abbildung 4.5: Die Oberfläche der Datenbank, zur Erstellung eines neuen Objektes, kann beispielsweise über einen Internet-Browser bedient werden. Die Werte der einzelnen Eigenschaften werden vom Nutzer eingetragen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Das Prozedere der Qualitätssicherung stellt die ordnungsgemäße Produktion der Module sicher und unterstützt außerdem die Rekonstruktion des Produktionsprozesses bei eventuell auftretenden Unregelmäßigkeiten.

Die erarbeiteten Eigenschaften der Qualitätssicherung für das Backpanel, das Eintrittsfenster und das Modul sind in Tabelle 3.1 dargestellt. Werte, die für alle drei im Produktionsprozess gemessen werden, sind die Temperatur und Luftfeuchtigkeit bei Klebprozessen. Diese sind wichtig, da beide Werte einen Einfluss auf die Aushärtung des Klebers und somit dessen mechanische Eigenschaften haben. Für das Backpanel und das Eintrittsfenster werden auch die Maße der Außenrahmen zur Überprüfung der Rechtwinkligkeit und der Größe der Komponenten vermessen.

Weitere Prüfpunkte für das Backpanel, ohne gemessene Werte, sind die elektrische Prüfung der Padplanes, die Höhe des Honeycombs zum Außenrahmen und die richtige Position der Hochspannungs-Durchführungen. Das Eintrittsfenster wird im Produktionsprozess zusätzlich auf die Planarität des Fensterrahmens und den elektrischen Kontakt zur Folie am Ende überprüft. Die Spannungen der Drähte im Modul und die Position der Drähte relativ zur Padplane sind Eigenschaften mit Werten, die für das Modul aufgenommen werden. Im Produktionsprozess werden diese Werte und Prüfpunkte zunächst in Dokumentationsblättern für jede Komponente, wie im Anhang dargestellt, notiert.

Die fertiggestellten Module werden zusätzlich auch auf ihre mechanische Präzision, ihre Gasdichtigkeit und ihre Hochspannungsstabilität überprüft und es wird ein Gain-Scan durchgeführt.

Viele der Eigenschaften dienen im späteren Messprozess als Startwerte für Kalibrationen. Um die Abrufbarkeit der Werte zu vereinfachen, werden diese in einer Datenbank gesammelt.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die *Component Database* erstmals auf ihre Verwendbarkeit für diese Aufgaben im CBM-TRD-Projekt überprüft. Diese bietet sich gut hierfür an, da ihre Struktur ermöglicht, die Komponenten des Moduls, also das Backpanel und das Eintrittsfenster, separat anzulegen und anschließend mit Hilfe von Relationen zwischen den Objekten

zu einem Modul zusammenzufügen. Für die einzelnen Messwerte und Prüfpunkte der Komponenten werden die Eigenschaften der Klassen verwendet, die für jedes Objekt beim Anlegen definiert werden. Die Werte werden aus den Dokumentationsblättern in die Datenbank übertragen.

Im späteren Betrieb der Datenbank ist es möglich die einzelnen Klassen nach Objekten mit bestimmten Werten in den Eigenschaften zu durchsuchen, um beispielsweise Komponenten mit auffälligen Werten in einer Eigenschaft herauszufiltern.

Bisher wurde die Datenbank-Registrierung für die Elektronik der Module, also die *Front End Boards* (FEBs) zum Auslesen der Signale, nicht betrachtet. Diese haben ebenfalls Prüfpunkte und Komponenten mit Messwerten, die für die Kalibration der Messungen relevant sind. Die FEBs könnten als weitere Klasse in die Datenbank hinzugefügt werden. Eine der Komponenten des FEBs, die vermessen wird, sind die *Application Specific Integrated Circuits* (ASIC). Es gibt hier einerseits die Möglichkeit die jeweiligen Messwerte mit den Positionen der ASICs in einer Datei in der FEB-Klasse zu speichern. Andererseits könnten die ASICs auch als separate Klasse aufgeführt werden und durch Relationen den FEBs zugeordnet werden. Die Vor- und Nachteile der jeweiligen Konfiguration müssen noch näher analysiert werden, um eine optimale Lösung zu finden.

A Anhang

Backpanel

Name: B _____ - _____

Modultyp: 3,5,7

Nummer (beginnend bei 001)

Baubeginn (Datum): _____

	Wert	Name/Kürzel
Name auf dem Alurahmen aufgeschrieben und mit Tape überklebt	<input type="checkbox"/>	
Padplane ist elektrisch geprüft	<input type="checkbox"/>	
Außenmaße des Rahmens	Kante 1:	
	Kante 2:	
	Diagonale 1:	
	Diagonale 2:	
Überprüfen Höhe Honeycomb zum Rahmen	<input type="checkbox"/>	
Temperatur Anfang Kleben der Padplane		
Luftfeuchte Anfang Kleben der Padplane		
Temperatur Ende Kleben der Padplane		
Luftfeuchte Ende Kleben der Padplane		
Verwendete Klebstoff-Charge (Batch)		
Position der Hochspannungsdurchführung wie in Vorlage	<input type="checkbox"/>	
Backpanel verpackt	<input type="checkbox"/>	
Daten in Datenbank übertragen	<input type="checkbox"/>	

Fertigstellung (Datum): _____

Eintrittsfenster

Name: **EW** _____ - _____

Modultyp: 1 (groß), 0 (klein)

Nummer (beginnend bei 001)

Baubeginn (Datum): _____

	Wert	Name/Kürzel
Name auf dem Leistenrahmen aufgeschrieben und mit Tape überklebt	<input type="checkbox"/>	
Temperatur Kleben des Rahmens		
Luftfeuchte Kleben des Rahmens		
Verwendete Klebstoff-Charge Rahmen (Batch)		
Außenmaße des Rahmens passen	Kante 1:	
	Kante 2:	
	Diagonale 1:	
	Diagonale 2:	
Temperatur Kleben der Leisten		
Luftfeuchte Kleben der Leisten		
Verwendete Klebstoff-Charge Leisten (Batch)		
Überprüfen Höhe Carbon-Leisten zum Fiberglas-Rahmen	<input type="checkbox"/>	
Temperatur beim Einspannen der Folie		
Temperatur Kleben des Rahmens auf die Folie		
Luftfeuchte Kleben des Rahmens auf die Folie		
Verwendete Klebstoff-Charge Rahmen auf Folie (Batch)		
Temperaturverlauf messen	<input type="checkbox"/>	
Dateiname Temperaturverlauf		
Kontaktprüfung Folienkontaktierung	<input type="checkbox"/>	
Eintrittsfenster verpackt	<input type="checkbox"/>	
Daten in Datenbank übertragen	<input type="checkbox"/>	

Fertigstellung (Datum): _____

Version 1.0

Literatur

- [21] ARALDITE® 2011. Huntsman Advanced Materials GmbH. Sep. 2021. URL: <https://www.huntsman.com/products/araldite2000/araldite-2011>.
- [And+21] Anton Andronic u. a. *Conceptual Design Review for the TRD gas system*. Apr. 2021.
- [And21] AG Andronic. *CBM - Das „Compressed Baryonic Matter“ Experiment*. letzter Zugriff: 21.09.2021. URL: <https://www.uni-muenster.de/Physik.KP/AGAndronic/forschung/cbm.html>.
- [AW12] A. Andronic und J. P. Wessels. „Transition radiation detectors“. In: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 666 (2012), S. 130–147.
- [Bé+06] M.-M. Bé u. a. *Table of Radionuclides*. Bd. 3. Monographie BIPM-5. Bureau International des Poids et Mesures, 2006. URL: http://www.bipm.org/utis/common/pdf/monographieRI/Monographie_BIPM-5_Tables_Vol3.pdf.
- [Col18] The CBM Collaboration. *The Transition Radiation Detector of the CBM Experiment at FAIR: Technical Design Report for the CBM Transition Radiation Detector (TRD)*. DOI: 10.15120/GSI-2018-01091. 2018.
- [Got05] Holger Gottschlag. *Entwicklung einer Apparatur zur automatisierten Positions- und Spannungsbestimmung von Drähten in Vieldrahtproportionalzählkammern*. Diplomarbeit. Westfälische Wilhelms-Universität Münster. 2005.
- [Kle92] Konrad Kleinknecht. *Detektoren für Teilchenstrahlung*. Teubner, 1992.
- [KR20] Philipp Kähler und Florian Roether. *Chamber QA, TRD PRR Outer Modules*, QA-Folien des Review-Meetings. Okt. 2020.
- [Lav20] E. Lavrik. „TGenBase - universal database for FAIR experiments“. In: *J. Phys. Conf. Ser.* 1667 (2020), S. 012025.
- [NIS21a] NIST. *Composition of Air, Dry (Near Sea Level)*. letzter Zugriff: 13.08.2021. URL: <https://physics.nist.gov/cgi-bin/Star/compos.pl?matno=104>.
- [NIS21b] NIST. *X-Ray Mass Attenuation Coefficients, Air, Dry (Near Sea Level)*. letzter Zugriff: 13.08.2021. URL: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/ComTab/air.html>.
- [Par21a] P.A. Zyla et al. (Particle Data Group). *Progress of Theoretical and Experimental Physics 2020, 083C01 (2020) and 2021 update*. letzter Zugriff: 31.08.2021. URL: <https://pdg.lbl.gov/2021/tables/rpp2021-sum-mesons.pdf>.

- [Par21b] P.A. Zyla et al. (Particle Data Group). *Progress of Theoretical and Experimental Physics 2020, 083C01 (2020) and 2021 update*. letzter Zugriff: 31.08.2021. URL: <https://pdg.lbl.gov/2021/tables/rpp2021-sum-leptons.pdf>.
- [RRB08] Luigi Rolandi, Werner Riegler und Walter Blum. *Particle Detection with Drift Chambers*. Springer, 2008.
- [Sch98] Jochen Schnapka. *Doppelspurerkennung unter Verwendung der Kathodenauslese am ZEUS-Übergangsstrahlungsdetektor*. Bonn 1998.
- [Web] Ruben Weber. Masterarbeit, zu veröffentlichen.

Danksagung

Ich möchte zunächst Prof. Dr. Anton Andronic und Prof. Dr. Christian Klein-Bösing für die Aufnahme in die Arbeitsgruppe und die Themenstellung dieser Arbeit danken.

Außerdem möchte ich Philipp Kähler für die Betreuung meiner Arbeit danken und die ständige Bereitschaft mir bei allen meinen Fragen und Problemen zu helfen.

Ein besonderer Dank geht an Felix Fidorra für seine Unterstützung bei meiner Arbeit und für sein offenes Ohr auch bei Fragen und Problemen die über die Physik hinaus gehen.

Zusätzlicher Dank geht an Norbert Heine für seine konstruktive Hilfe vor allem im Prozess des Fensterbaus.

Auch den anderen CBM-lern möchte ich dafür danken, dass sie mich so herzlich aufgenommen haben und für die vielen lustigen Spieleabende.

Ebenfalls möchte ich mich bei meinen Freunden Alex, Clemens, Daniel, Lea und Paula bedanken, ohne die ich vermutlich nie bis zum Ende meines Physik-Bachelors gekommen wäre.

Zuletzt geht mein Dank natürlich auch an meine Familie, die mich immer unterstützt hat und mir immer zur Seite steht.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, *Kristin Nissen*, dass ich die vorliegende Arbeit *Entwicklung und Einführung der Qualitätssicherung für die CBM TRD-Modulproduktion* selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Gedanklich, inhaltlich oder wörtlich übernommenes habe ich durch Angabe von Herkunft und Text oder Anmerkung belegt bzw. kenntlich gemacht. Dies gilt in gleicher Weise für Bilder, Tabellen, Zeichnungen und Skizzen, die nicht von mir selbst erstellt wurden.

Ich erkläre mich mit einem Abgleich der Arbeit mit anderen Texten zwecks Auffindung von Übereinstimmungen sowie mit einer zu diesem Zweck vorzunehmenden Speicherung der Arbeit in eine Datenbank einverstanden.

Münster, 29. September 2021



Kristin Nissen