

# Simulation eines BC501A-Szintillators mit geant4

Miniforschung von Sandra Kemler  
April 2010



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

---

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>1. Motivation</b>	<b>2</b>
<b>2. Simulation</b>	<b>3</b>
2.1. Detektoraufbau . . . . .	3
2.2. Eigenschaften des Szintillatormaterials . . . . .	4
<b>3. Datenauswertung I</b>	<b>6</b>
3.1. Vergleich verschiedener Geometrien . . . . .	6
3.2. Vergleich mit einem Experiment . . . . .	7
3.3. Vergleich mit phresp-Simulation . . . . .	7
<b>4. Datenauswertung II</b>	<b>9</b>
4.1. Vergleich verschiedener Fenstermaterialien . . . . .	9
4.2. Zuordnung von Eigenschaften des Szintillatormaterial . . . . .	10
4.3. Vergleich mit einem Experiment . . . . .	10
4.4. Vergleich mit phresp-Simulation . . . . .	11
<b>5. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>14</b>
<b>A. Code</b>	<b>15</b>
A.1. Verwendete Materialien (CustomMaterials.cc) . . . . .	15
A.2. Detektoraufbau (DetOnedetector.cc) . . . . .	16
A.3. Versuchsaufbau (DetectorConstruction.cc) . . . . .	19

---

## 1 Motivation

---

Im Rahmen des *Sonderforschungsbereich 634* der *Deutschen Forschungsgemeinschaft* wurde am supraleitenden Darmstädter Elektronenbeschleuniger S-DALINAC an der *Technischen Universität Darmstadt* ein Neutronendetektorball [1] aufgebaut, der als Trigger für systematische Untersuchungen von Riesenresonanzen in koinzidenten Elektronstreuexperimenten dienen wird. Der Detektorenball besteht aus 13 Flüssigszintillatoren des Typs  $5'' \times 2''$  BC501A und deckt einen Raumwinkel von circa  $1.3\pi$  ab. Die Neutronendetektoren können mittels einer Pulsformanalyse erkennen ob es sich bei dem einfallenden Teilchen um ein Photon oder Neutron handelt.

Bevor Experimente durchgeführt werden, sollen die zu erwartenden Ergebnisse mit geant4 [2] simuliert werden. Bisherige Simulationen wurden mit dem Programm phresp gemacht. Da hier allerdings eine komplexe Geometrie und nicht ein einzelner Detektor simuliert werden soll, ist dieses Programm nicht geeignet.

Ziel dieser Miniforschung war es den Neutronendetektor in geant4 zu implementieren, und dessen Verhalten in Simulationen besser zu verstehen. In Kapitel 2 sind die Materialeigenschaften und die Geometrie der BC501A-Detektoren erklärt. Erste Vergleiche mit Experimente und unterschiedlichen Geometrien werden in Kapitel 3 dargestellt. Kapitel 4 zeigt weitere Vergleiche, die mit veränderten Fenstermaterialien erzielt wurden. Die wichtigsten Ergebnisse sind in Kapitel 5 zusammengefasst. Die wichtigsten Elemente des Codes sind in Kapitel A aufgeführt.

---

## 2 Simulation

---

Der Code beruht auf einer Simulation eines Germaniumkristalls der Tagger-Gruppe des Instituts für Kernphysik der Technischen Universität Darmstadt. Wenn ein Teilchen ins Detektormaterial tritt, wird die Energie, die das Teilchen deponiert, aufsummiert. Die Anzahl der gezählten Teilchen einer bestimmten Energie wird dann über die Energie aufgetragen. Dies ergibt eine Funktion für die deponierte Energie, die eng mit der Kurve der Lichtleistung des Materials zusammenhängt.

Zuerst wurde der Detektoraufbau angepasst. Das Programm soll später für die Simulation des Neutronenballs genutzt werden, der aus 13 Neutronendetektoren zusammengesetzt wird. Zunächst wurde einer dieser Detektoren realisiert, um die Simulation zu testen und mit anderen zu vergleichen.

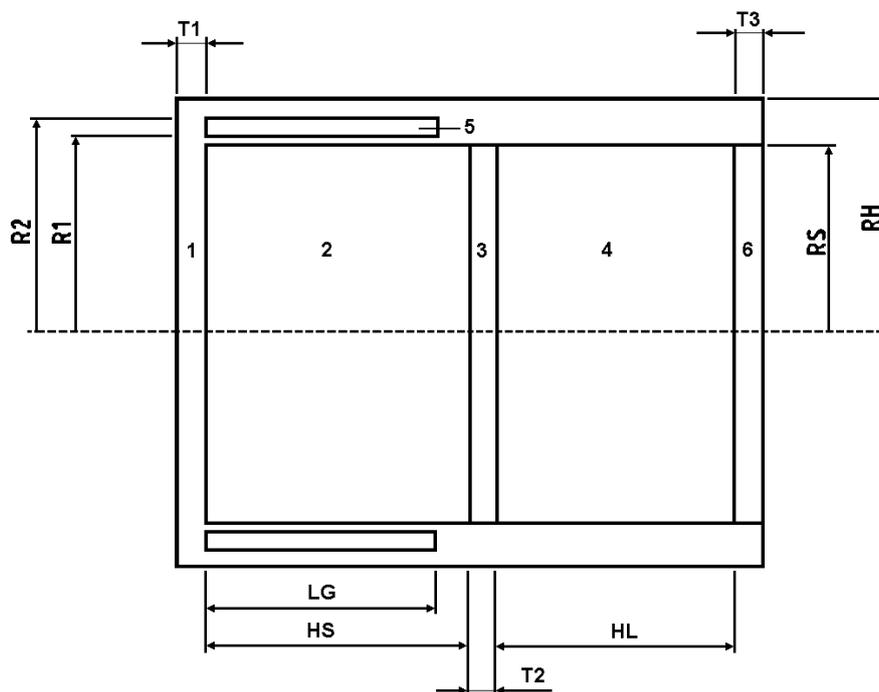
Vor der Simulation musste auch noch das verwendete Material in geant4 entworfen werden. Außerdem wurden diesem Material entsprechende Eigenschaften für die Wechselwirkung mit Gammastrahlung zugeordnet.

---

### 2.1 Detektoraufbau

---

In Abbildung 2.1 ist das Modell des Detektors NE213 dargestellt, der für die Monte-Carlo-Simulation des Programms phresp [3] verwendet wurde. Das gleiche Modell wurde auch hier für die Simulation verwendet und in geant4 implementiert. Um den am Institut für Kernphysik eingesetzten fast baugleichen Neutronendetektor des Typs BC501A [4] zu simulieren, wurde bei der geant4-Simulation Xylene als Szintillatormaterial verwendet.



**Abbildung 2.1.:** Aufbau des Detektors, der für die Simulation genutzt wurde. Die Materialien sind: Aluminium (1), BC501A (2,5), Glas (3,6) und Lichtleiter (4). In der Simulation ist anstelle eines Lichtleiters nur Vakuum in Bereich (4). Das richtige Material muss noch in geant4 implementiert werden. Die Parameter der Geometrie sind in Tabelle 2.1 zusammengestellt.

Die Parameter (siehe Tabelle 2.1), die für die Simulation genutzt wurden, entsprechen den Abmessungen der im Experiment verwendeten Szintillatoren. Ebenso die verwendeten Materialien, allerdings fehlt noch das richtige Material für den Lichtleiter, der für erste Simulationen durch ein Vakuum ersetzt wurde.

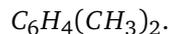
Parameter	Beschreibung	Länge in cm
RS	innerer Radius des Szintillators	6,35
HS	Länge des Szintillatormaterials	5,08
RH	äußerer Radius des Detektorgehäuses	7,62
LG	Länge der äußeren Zelle	3,65
HL	Länge des Lichtleiters	2,50
R1	innerer Radius der äußeren Zelle	6,45
R2	äußerer Radius der äußeren Zelle	7,50
T1	Dicke des Aluminiumgehäuses	0,32
T2	Dicke der Glasscheibe zwischen Szintillatormaterial und Lichtleiter	0,32
T3	Dicke der Glasscheibe hinter dem Lichtleiter	0,64

**Tabelle 2.1.:** Abmessungen des BC501A-Szintillators dargestellt in Abbildung 2.1.

Im Rahmen dieser Miniforschung wurde ein geant4-Programm an die Materialeigenschaften und die Geometrie eines einzelnen BC501A-Detektors angepasst. Es wurden Simulationen mit Gammastrahlen durchgeführt und Vergleiche mit einem Experiment und der phresp-Simulation gemacht.

## 2.2 Eigenschaften des Szintillatormaterials

Ein wichtiger Schritt ist auch die Implementierung des richtigen Materials für die Detektoren. Das Szintillatormaterial, das im Experiment verwendet wird, ist das Dimethylbenzen Xylen, dessen chemische Zusammensetzung wie folgt aussieht [5]:



Als Vorlage für die Materialkonstruktion diente ein Code, der das gleiche Material verwendet [6].

In geant4 wird ein Material wie folgt erzeugt. Wichtig sind dabei die Angabe der Stoffe, aus denen das Material zusammengesetzt ist, und die Dichte.

```
//BC501A
density=.874*g/cm3;
BC501A=new G4Material(name="BC501A", density, nocomponents=2);
BC501A->AddElement(e1C, 10);
BC501A->AddElement(e1H, 12);
```

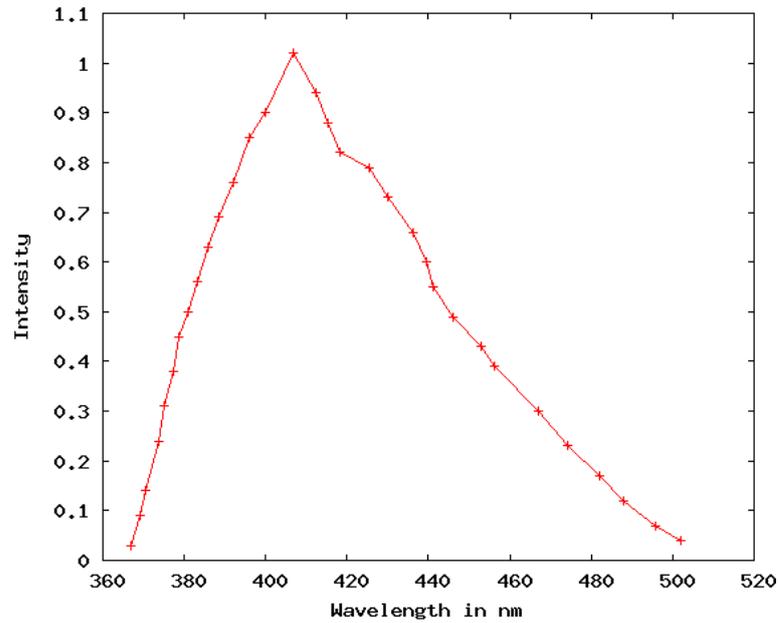
Außerdem müssen dem Material auch noch weitere Eigenschaften zugeordnet werden. Die konstanten Werte sind in Tabelle 2.2 zusammengetragen.

geant4	Data-Sheet BC501A [4]	Wert
FASTDECAY	Mittlere Zerfallszeit der ersten Komponente	3,16 ns
SLOWDECAY	Mittlere Zerfallszeit der dritten Komponente	270 ns
SCINTILLATIONYIELD	Anzahl der Photoelektronen pro Energieverlust	1,7/keV
YIELDRATIO	Ratio, Alpha:Beta „slow“	0,098
RESOLUTIONSCALE		1

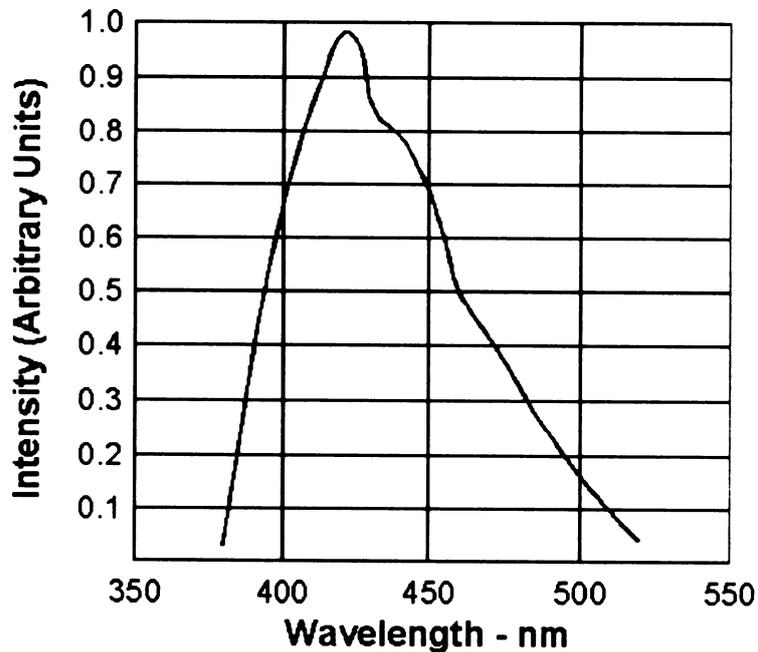
**Tabelle 2.2.:** Materialeigenschaften (konstante Werte)

Neben den konstanten Eigenschaften werden auch noch von der Photonenenergie abhängige definiert. Dazu werden 32 Energien zwischen 2,39 eV und 3,27 eV in ein Array geschrieben. Diesen Energien kann man dann einzelne Werte zuordnen. Dies wurde hier für den Brechungsindex „RINDEX“=1,505 (für jeden Eintrag) und die Absorptionslänge „ABSLNGTH“=1 m (für jeden Eintrag) getan. Außerdem wurde noch ein Array für „SLOWCOMP“ definiert. In Abbildung 2.2a sieht man diese Komponente über der Wellenlänge der Photonen aufgetragen. Dabei

wurden die Einträge der beiden Arrays verwendet. Das Ergebnis stimmt mit der Kurve des Emissionsspektrums von BC501A überein.



(a) SLOWCOMP über der Wellenlänge der Photonen



(b) Emissionsspektrum von BC501A (aus [4])

Der Teil, des Detektors, der aus Szintillatormaterial besteht, muss noch sensitiv auf die einfallenden Gammas gemacht werden, damit gezählt werden kann, wie viel Energie die Gammas im Material verlieren. Diese deponierte Energie kann später in eine Lichtleistung umgerechnet werden. Für die ersten Simulationen war nur der Hauptteil des Szintillatormaterials sensitiv, später wurde auch die äußere Zelle dazugenommen.

### 3 Datenauswertung I

Um die Simulation zu testen, wurden einige Vergleiche angestellt: zuerst Vergleiche verschiedener Detektorabmessungen, ein Vergleich mit der in früheren Arbeiten verwendeten Simulation mit phresp und natürlich ein Vergleich mit experimentellen Daten.

Die Quelle ist in der Simulation 28,5 cm vom Detektor entfernt und sendet Gammastrahlung mit einer Energie von  $E_\gamma = 0,661$  MeV aus. Bei allen Simulationen wurden  $10^7$  Gammas auf den Detektor geschossen. Die Kanalbreite beträgt jeweils 1 keV.

Für diese erste Datenauswertung bestehen die beiden Fenster in der Simulation aus einem C-H-Gemisch (siehe Code im Kapitel A.1 Fenster). An der Stelle des Lichtleiters ist ein Vakuum.

#### 3.1 Vergleich verschiedener Geometrien

Es wurden zwei verschiedene Geometrien simuliert und die Ergebnisse verglichen, einmal ein Szintillator mit einem Radius von  $RS=6,35$  cm und einer Länge von  $HS=5,08$  cm (5"x2") und einmal mit einem Radius von  $RS=6,35$  cm und einer Länge von  $HS=10,16$  cm (5"x4"). Die benutzten Abmessungen für beide Szintillatoren sind in Tabelle 3.1 gegenüber gestellt.

Parameter	RS	HS	RH	LG	HL	R1	R2	T1	T2	T3
5x2 Länge in cm	6,35	<b>5,08</b>	7,62	3,65	2,50	6,45	7,50	0,32	0,32	0,64
5x4 Länge in cm	6,35	<b>10,16</b>	7,62	3,65	6,28	6,45	7,50	0,32	0,32	0,64

Tabelle 3.1.: Abmessungen der simulierten BC501A-Szintillatoren mit verschiedenen Geometrien

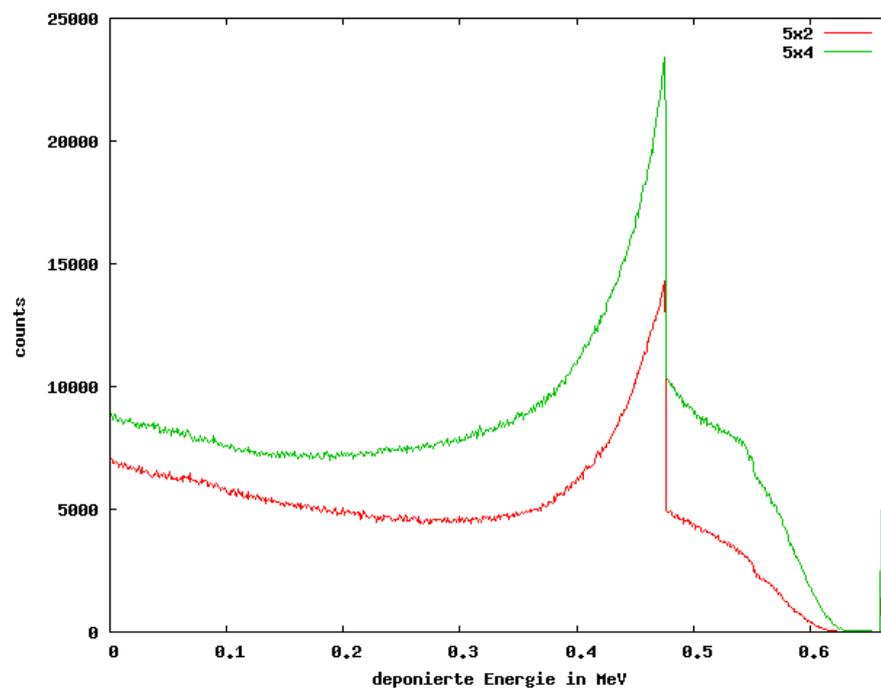


Abbildung 3.1.: Vergleich mit einem Szintillator zweifacher Länge

In Abbildung 3.1 sieht man die Ergebnisse der beiden Simulationen im Vergleich. Die Form der beiden Kurven ist gleich, im doppelten Volumen werden allerdings deutlich mehr Teilchen detektiert.

---

### 3.2 Vergleich mit einem Experiment

---

Hier sollen die Ergebnisse der Simulation mit experimentellen Daten verglichen werden. Im Experiment wurde eine  $^{137}\text{Cs}$ -Quelle in einem Abstand von 28,5 cm vor einem Detektor platziert.  $^{137}\text{Cs}$  emittiert Gammas der Energie  $E_\gamma = 0,661$  MeV, wie die Quelle in der Simulation. Die Comptonkante liegt bei  $E_C = 0,48$  MeV. Im Experiment dient sie zur Energieeichung der Detektoren.

Um Experiment und Simulation überhaupt vergleichen zu können, muss die Detektorauflösung berücksichtigt werden. Die Daten, die durch die Simulation gewonnen wurden, werden mit der Detektorauflösung gefaltet (siehe [7]). In Abbildung 3.2 sind die experimentellen Daten zusammen mit denen der Simulation und verschiedenen Detektorauflösungen zu sehen. Es zeigt sich, dass die Daten mit einer angenommenen Detektorauflösung von 11% in der Umgebung der Comptonkante mit dem Experiment gut übereinstimmen.

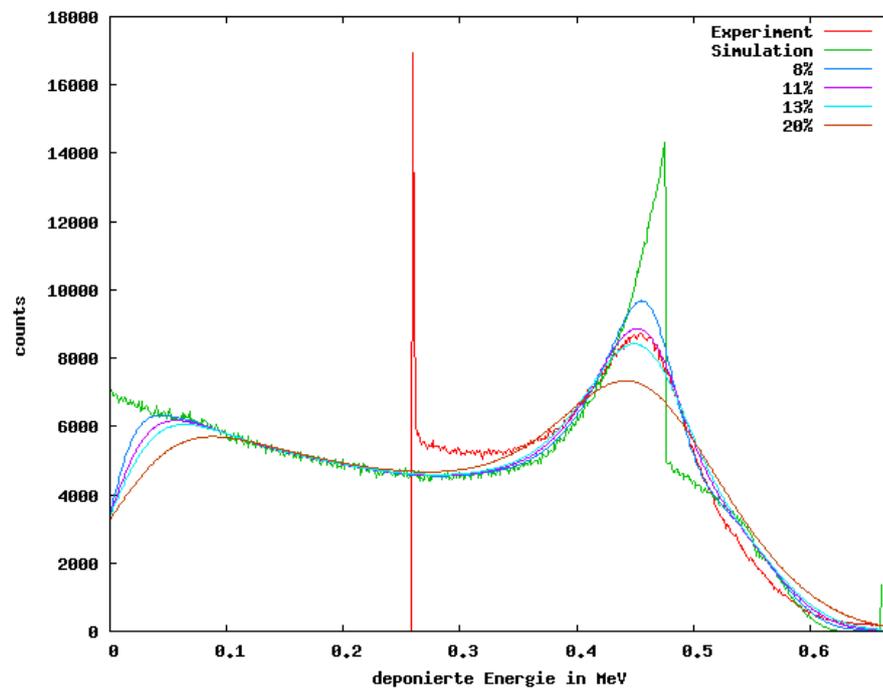


Abbildung 3.2.: Vergleich mit einem Experiment

---

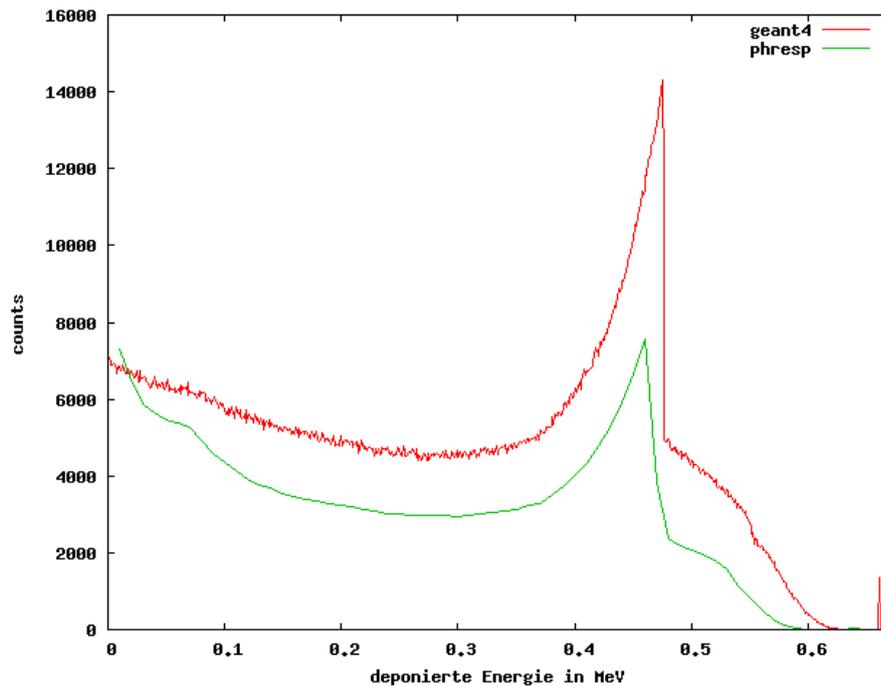
### 3.3 Vergleich mit phresp-Simulation

---

Neben dem Vergleich mit dem Experiment sollen die Ergebnisse auch mit einer anderen Simulation verglichen werden. Die phresp-Simulation wurde bisher verwendet und die Ergebnisse stimmen gut mit dem Experiment überein. Allerdings kann man damit keine komplizierten Aufbauten wie zum Beispiel einen Neutronenball simulieren. Dazu sollen nun Simulationen mit geant4 gemacht werden.

Die Detektorabmessungen der geant4- und der phresp-Simulation sind identisch. Die Quelle ist auch hier 28,5 cm vom Detektor entfernt, die Gammaenergie beträgt  $E_\gamma = 0,661$  MeV und auch hier wurden  $10^7$  Gammas auf den Detektor geschossen. Die Kanalbreite beträgt bei der phresp-Simulation allerdings 10 keV. Um diesen Unterschied auszugleichen, wurden alle Werte dieser Simulation durch 10 geteilt.

In Abbildung 3.3 sieht man, dass es zwischen beiden Simulation große Unterschiede gibt. Die Counts liegen bei der geant4-Simulation deutlich über den Werten der phresp-Simulation und auch die Formen der beiden Kurven stimmen nicht überein, insbesondere bei niedrigen Energien.



**Abbildung 3.3.:** Vergleich mit einer phresp-Simulation

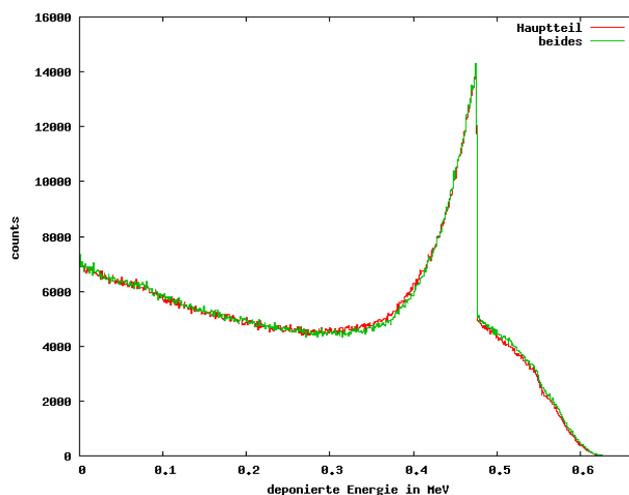
Ein Unterschied zwischen beiden Simulationen ist, dass in der geant4-Simulation BC501A als Detektormaterial verwendet wurde, bei der phresp-Simulation dagegen NE213. Beide Materialien haben sehr ähnliche Eigenschaften, dies sollte also nicht solche starken Abweichungen erklären können. Dieser Unterschied wird in Abschnitt 4.4 noch einmal genauer diskutiert.

---

#### Unterschiede in der Geometrie

---

Da die Kurven erheblich voneinander abweichen, mussten Überlegungen zum Grund dieser Abweichung gemacht werden. Die erste Überlegung war, ob es damit zusammenhängt, dass die äußere Zelle des Szintillators ((5) in Abbildung 2.1) bei den bisherigen Simulationen nicht sensitiv war. Allerdings sollte man annehmen, dass die Zählraten durch die Vergrößerung des Szintillators nur größer werden. In Abbildung 3.4 kann man erkennen, dass es beinahe keinen Unterschied macht, ob die äußere Zelle sensitives Material ist oder nicht.



**Abbildung 3.4.:** Szintillator mit und ohne äußere Zelle als sensitives Szintillatormaterial

---

## 4 Datenauswertung II

---

Da die Abweichungen von der phresp-Simulation signifikant waren, wurden einige Modifikationen der Materialien und Materialeigenschaften durchgeführt, um den Grund des Unterschieds zu finden.

Die Quelle ist auch bei diesen Simulationen 28,5 cm vom Detektor entfernt und sendet Gammastrahlung mit einer Energie von  $E_\gamma = 0,661$  MeV aus. Die Kanalbreite beträgt jeweils 1 keV.

---

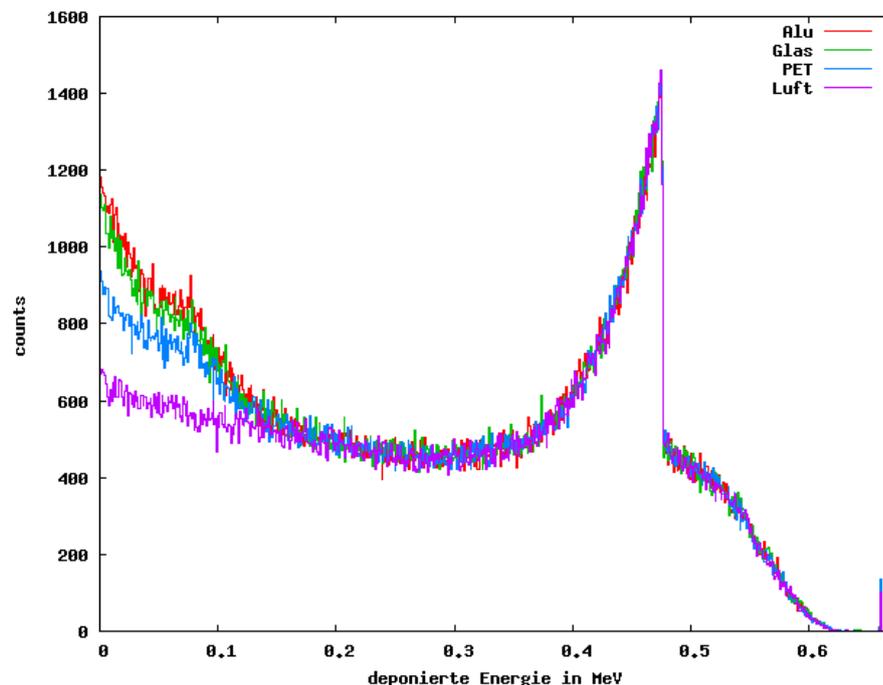
### 4.1 Vergleich verschiedener Fenstermaterialien

---

Der Teil hinter dem Szintillatormaterial, das heißt die beiden Fenster und der Lichtleiter, wurden mit jeweils dem gleichen Material gefüllt. Vier verschiedene Materialien wurden getestet (genaue Zusammensetzung siehe Kapitel A.1):

- Aluminium
- Glas (Siliziumdioxid)
- PET
- Luft (aus Stickstoff und Sauerstoff)

Hier wurden für die Simulation  $10^6$  Gammas auf den Detektor geschossen.



**Abbildung 4.1.:** Vergleich verschiedener Fenstermaterialien

Abbildung 4.1 zeigt ein Vergleich der Zählrate über der deponierten Energie für verschiedene Materialien für das Fenster und den Lichtleiter. Oberhalb von 0,2 MeV zeigen alle vier Linien das gleiche Verhalten: eine relativ konstante Zählrate im Bereich von 0,2 MeV – 0,3 MeV, die Compton-Kante bei 0,48 MeV, sowie ein kleiner Photopeak bei 0,66 MeV. Im Bereich unterhalb von 0,2 MeV rufen die unterschiedliche Materialien jedoch unterschiedliche Kurven hervor. Während für Luft die Zählrate zwischen 0 und 0,3 MeV nahezu konstant ist, ist die Zählrate für PET, Glas und Aluminium bis zu mehr als doppelt so hoch wie zwischen 0,2 – 0,3 MeV.

---

In diesem niederenergetischen Bereich waren die Unterschiede zwischen den beiden Simulationen phresp und geant4 wie in Abbildung 2.2 gezeigt besonders stark.

Dies könnte daran liegen, dass die Reflektivität für Photonen mit Energien unterhalb von 200 keV höher ist als bei PET und Luft, und damit mehr Teilchen im Detektor nachgewiesen werden können.

---

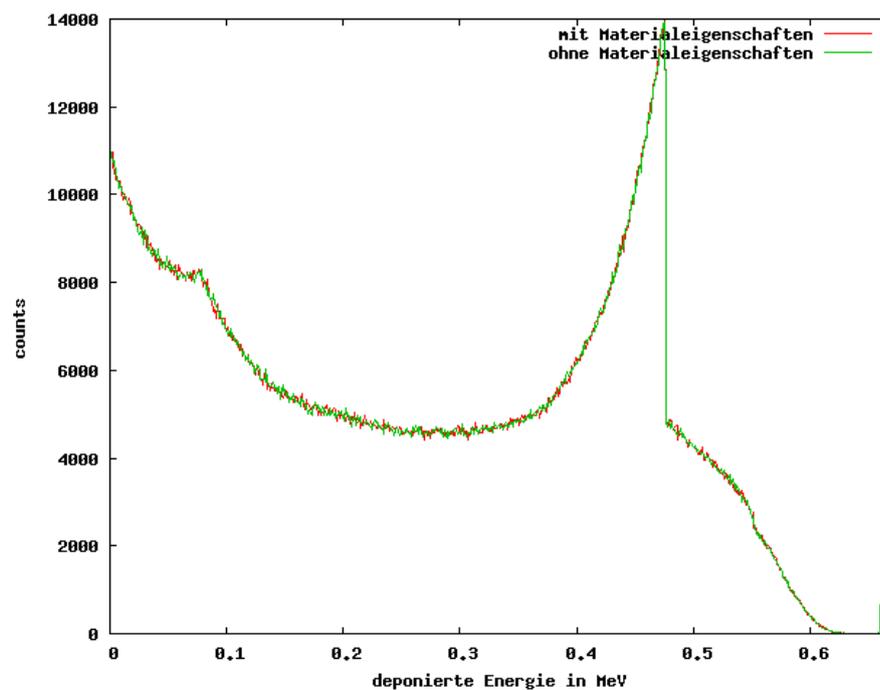
## 4.2 Zuordnung von Eigenschaften des Szintillatormaterial

---

Diese Simulation wurde ebenso wie alle weiteren wieder mit  $10^7$  Teilchen durchgeführt und mit Glas im gesamten Bereich hinter dem Szintillatormaterial.

Durch Änderungen der Materialeigenschaften fiel auf, dass die Zuordnung der Materialeigenschaften, wie sie in Abschnitt 2.2 beschrieben wird, keinen Einfluss auf die Ergebnisse der Simulation zu haben scheint. Dies wurde allerdings nur für die Energiedeposition überprüft. Es wird erwartet, dass die Materialeigenschaften bei weiteren Simulationen z.B. der Pulsform eine wichtige Rolle spielen.

In Abbildung 4.2 sieht man das Ergebnis der Simulation, das mit einer Zuordnung von Materialeigenschaften erzielt wurde, sowie das Ergebnis ohne diese zusätzlich angegebenen Eigenschaften. Die Kurven sind kaum zu unterscheiden.



**Abbildung 4.2.:** mit und ohne Zuordnung weiterer Materialeigenschaften

---

## 4.3 Vergleich mit einem Experiment

---

Auch die neuen Simulationsergebnisse sollen mit einem Experiment verglichen werden. Der experimentelle Aufbau ist der gleiche wie in 3.2 beschrieben. Die Daten wurden wieder mit der Detektorauflösung gefaltet (siehe auch [7]).

In Abbildung 4.3 sind die experimentellen Daten zusammen mit denen der neuen Simulation und verschiedenen Detektoraufösungen zu sehen. Es zeigt sich, dass die Daten auch hier mit einer angenommenen Detektorauflösung von 11% in der Umgebung der Comptonkante mit dem Experiment gut übereinstimmen.

Dass hier das gleiche Ergebnis wie bei der vorherigen Simulation erzielt wurde, ist damit zu erklären, dass die Anpassung des Fenstermaterials an den Zählraten in der Umgebung der Comptonkante nichts verändert hat. Allerdings kann nur dieser Bereich sinnvoll mit dem Experiment verglichen werden.

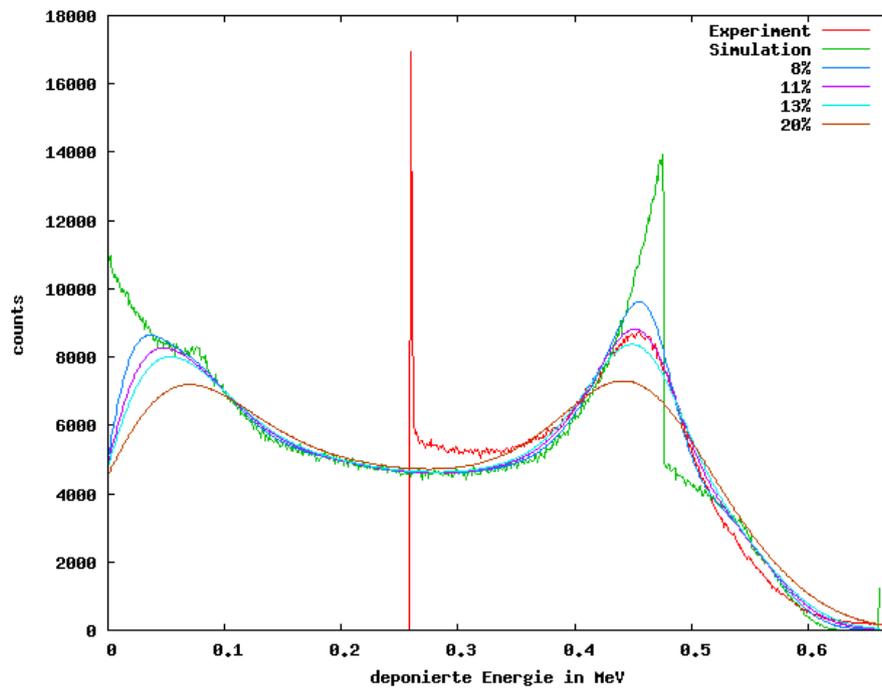


Abbildung 4.3.: Vergleich mit einem Experiment

#### 4.4 Vergleich mit phresp-Simulation

Die Eigenschaften der phresp-Simulation sind auch hier wieder wie in Kapitel 3.3 angegeben.

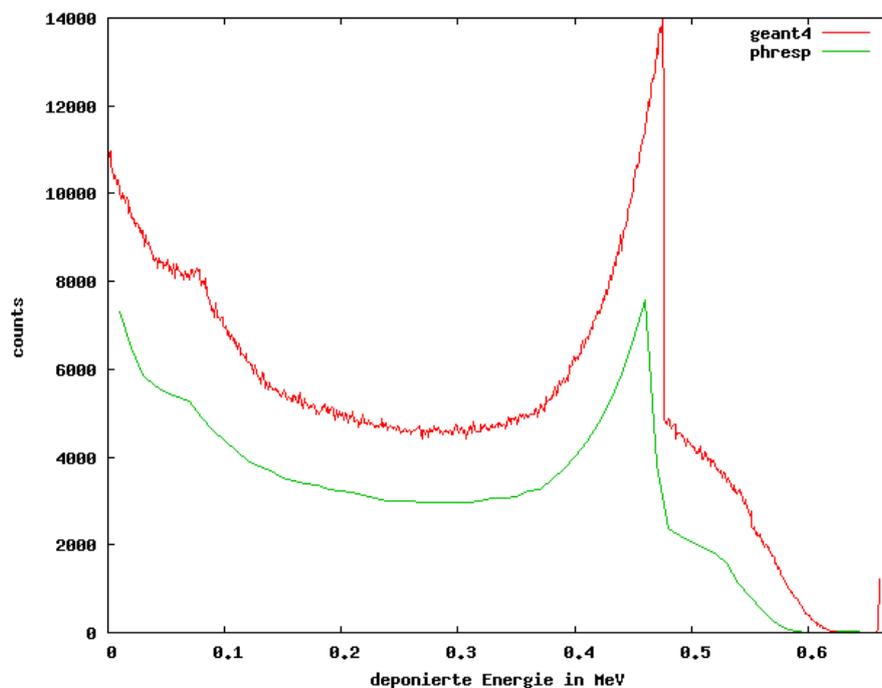


Abbildung 4.4.: Vergleich mit einer phresp-Simulation

---

Man sieht in Abbildung 4.4 deutlich, dass das Verhalten der Zählraten im Bereich niedriger Energien nun deutlich besser übereinstimmt. Auffällig sind allerdings immer noch die höheren Zählraten bei der geant4-Simulation.

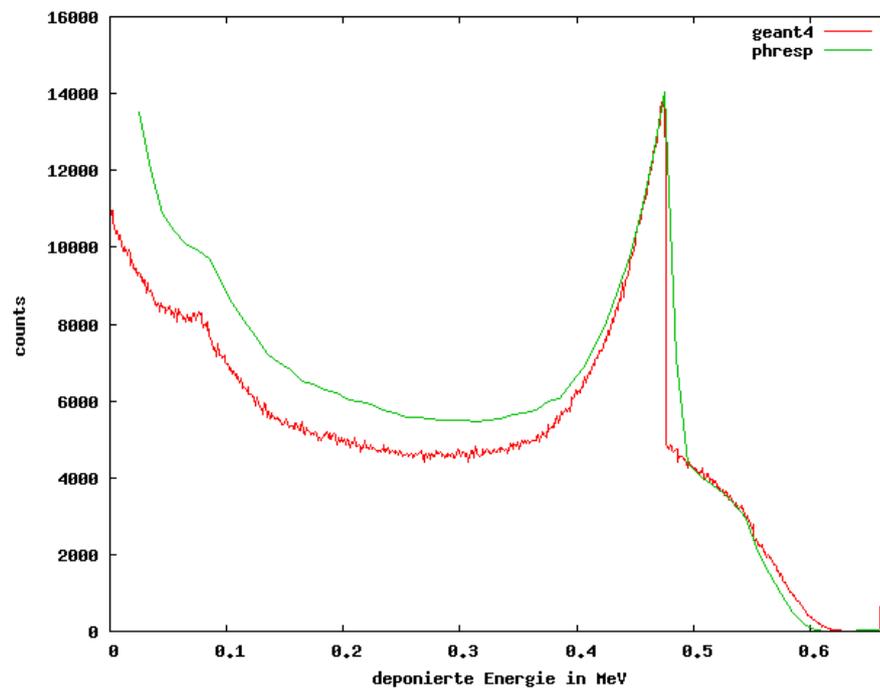
---

#### Materialunterschied zwischen NE213 und BC501A

---

Eine weitere Erklärung für die Unterschiede in der Zählrate ist das unterschiedliche Material, das mit den beiden Programmen simuliert wird. Mit phresp werden Szintillatoren vom Typ NE213, deren genau Materialzusammensetzung unbekannt ist, simuliert und mit geant4 wurde ein Simulation von Szintillatoren vom Typ BC501A, deren Szintillatormaterial Xylen ist, gemacht.

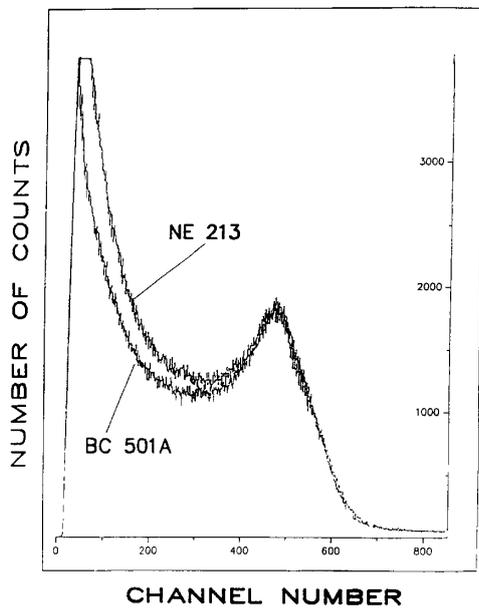
In Abbildung 4.5 sieht man die Ergebnisse der beiden Simulationen, wobei sie auf den Compton-Peak normiert sind.



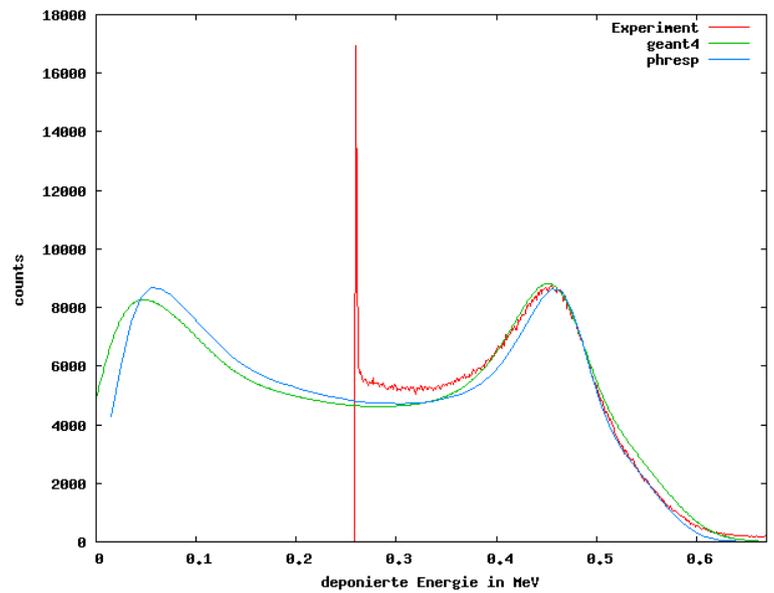
**Abbildung 4.5.:** Vergleich der Energiekurve von NE213 (phresp) und BC501A (geant4)

In [8] werden Ergebnisse von NE213-Szintillatoren mit Ergebnissen von BC501A-Szintillatoren im Experiment verglichen. Leider findet sich in diesem Artikel keine Angabe über unterschiedliche Zählraten. Zu finden ist der in Abbildung 4.6(a) dargestellte Vergleich der beiden Experimente, bei denen die Messergebnisse auf Breite und Höhe des Compton-Peaks normiert wurden. Man sieht hier, dass die Kurve im Bereich niedriger Energien bei dem NE213-Detektor höher ist als bei dem BC501A-Detektor.

In Abbildung 4.6(b) sieht man die Ergebnisse der Simulationen gefaltet, um sie mit dem Experiment vergleichen zu können, auch hier auf den Comptonpeak normiert. Hier sieht man das gleiche Verhalten. Die Kurve des NE213-Scintillators ist im Bereich niedriger Energien höher, als die Kurve des BC501A-Scintillators.



(a) im Experiment (aus [8])



(b) gefaltete Simulationen NE213 (phresp) und BC501A (geant4)

Abbildung 4.6.: Vergleich der Energiekurve von NE213 und BC501A

---

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

---

In dieser Miniforschung wurde ein Programmteil zur Simulation eines Szintillationsdetektor in geant4 geschrieben. Die Geometrie eines einzelnen Detektors wurde abgebildet und mit den richtigen Materialien versehen. Außerdem wurden Vergleiche mit einem erprobten Programm für diese Simulation gemacht. Nach einigen Versuchen und Veränderungen sehen die Ergebnisse nun auch sehr ähnlich aus. Ebenso wurde ein Vergleich mit einem Experiment vorgenommen. Besonders die Übereinstimmung von Simulation und Experiment ist wichtig, da später Simulationen zeigen sollen, welche Ergebnisse für kompliziertere Aufbauten im Experiment zu erwarten sind. Zumindestens in einem Bereich um die Comptonkante stimmen die Ergebnisse auch gut überein.

In dieser Miniforschung wurden Simulationen ausschließlich mit Gammastrahlen gemacht.

Da die angegebenen Materialeigenschaften für Gammastrahlung vom Programm anscheinend ignoriert werden, muss nun geklärt werden, wie man in dem Programm unterschiedliche Eigenschaften für Neutronen und Photonen implementiert und wie man diese verschiedenen Teilchen zuweist. Der Detektor im Experiment soll zwischen Gammas und Neutronen unterscheiden können, daher ist es wichtig, dass die Simulationsergebnisse auch mit Neutronenexperimenten übereinstimmen.

Außerdem muss die Geometrie noch auf die gesamten 13 Detektoren erweitert werden, die den Neutronenball bilden sollen.

Um zu klären, ob die Detektoren unterschiedliche Effizienzen haben, oder das Problem in der Simulation liegt, könnte eine Messung mit einer Gamma-Quelle und den beiden Detektor-Typen weiterhelfen.

---

## A Code

---

Der folgende Code umfasst nicht das gesamte Programm, sondern nur die Programmteile, an denen Änderungen vorgenommen wurden.

---

### A.1 Verwendete Materialien (CustomMaterials.cc)

---

```
// Vakuum
density=universe_mean_density;
G4double pressure=1.e-19*pascal;
G4double temperature=0.1*kelvin;
Vacuum= new G4Material(name="Vacuum", z=1., a=1.01*g/mole, density, kStateGas,
temperature, pressure);

// Aluminium
a=26.981539*g/mole;
density=2.6989*g/cm3;
Aluminium =new G4Material(name="Aluminium", z=13., a, density);

// Luft aus Stickstoff und Sauerstoff
a=16.00*g/mole;
G4Element* elO = new G4Element(name="Oxygen", symbol="O", z=8., a);
a=14.01*g/mole;
G4Element* elN = new G4Element(name="Nitrogen", symbol="N", z=7., a);
density=1.2*mg/cm3;
Air = new G4Material(name="Air", density, nocomponents=2);
Air->AddElement(elO, fractionmass=0.2);
Air->AddElement(elN, fractionmass=0.8);

//BC501A
a = 1.01*g/mole;
G4Element* elH = new G4Element(name="Hydrogen", symbol="H", z=1., a);
a = 12.01*g/mole;
G4Element* elC = new G4Element(name="Carbon", symbol="C", z=6., a);
density=.874*g/cm3;
BC501A=new G4Material(name="BC501A", density, nocomponents=2);
BC501A->AddElement(elC, 10);
BC501A->AddElement(elH, 12);

// Fenster
density=1.032*g/cm3;
Fenster = new G4Material("Fenster", density, nocomponents=2);
Glass->AddElement(elC,91.533*perCent);
Glass->AddElement(elH,8.467*perCent);

//PET
density=1.4*g/cm3;
PET=new G4Material(name="PET", density, nocomponents=3);
PET->AddElement(elC, 10);
PET->AddElement(elO, 3);
PET->AddElement(elH, 8);
```



---

```

G4double fastdecay = 3.16*ns;
G4double slowdecay = 270.*ns;
G4double yieldratio = 0.098;
G4double timeresol = 1.0;
G4double scintyield = 1.7/keV;

MPTBC501A->AddProperty("SLOWCOMP", PhotonEnergy, slowcomp, entries);
MPTBC501A->AddProperty("RINDEX", PhotonEnergy, refracindex, entries);
MPTBC501A->AddProperty("ABSLNGTH", PhotonEnergy, absorption, entries);

MPTBC501A->AddConstProperty("FASTDECAY", fastdecay);
MPTBC501A->AddConstProperty("SLOWDECAY", slowdecay);
MPTBC501A->AddConstProperty("RESOLUTIONSCALE", timeresol);
MPTBC501A->AddConstProperty("YIELDRATIO", yieldratio);
MPTBC501A->AddConstProperty("SCINTILLATIONYIELD", scintyield);

BC501A->SetMaterialPropertiesTable(MPTBC501A);

// ----- Detektor -----

G4double startAngle = 0.*deg;
G4double spanningAngle = 360.*deg;

// Aluminiumhuelle
G4Material* Alum=Material->Get_Aluminium();
G4double Alu_Rinnen = 0.*cm;
G4double Alu_Raussen = 7.62/2.*cm;
G4double Alu_laenge = 8.86*cm;

G4Tubs* Alu_Huelle = new G4Tubs("Alu",Alu_Rinnen, Alu_Raussen, Alu_laenge/2.,
    startAngle, spanningAngle);

DetOnedetector_Logical = new G4LogicalVolume(Alu_Huelle,Alum,"Alu_log");

// G4PVPlacement wird in DetectorConstruction gesetzt

// Scintillator BC501A

// Hauptteil

G4double BC501A_Rinnen = 0.*cm;
G4double BC501A_Raussen = 6.35*cm;
G4double BC501A_laenge = 5.08*cm;

G4Tubs* BC501A_tubs = new G4Tubs("BC501A",BC501A_Rinnen, BC501A_Raussen,
    BC501A_laenge/2., startAngle, spanningAngle);

BC501A_Logical = new G4LogicalVolume(BC501A_tubs,BC501A,"BC501A_log",0,0,0);

G4VisAttributes* scintvis=new G4VisAttributes(G4Color(0.,0.5,0.));
BC501A_Logical->SetVisAttributes(scintvis);

```

```

G4String SDname;
G4String HCname;
DetektorCrystal* BC501Crystal=new DetektorCrystal(SDname=Name,HCname=Name+"_Coll");
G4SDManager* SDman=G4SDManager::GetSDMpointer();
SDman->AddNewDetector(BC501Crystal);
BC501A_Logical->SetSensitiveDetector(BC501Crystal);

G4double BCz=((Alu_laenge/2.-0.32*cm)-BC501A_laenge/2.);

new G4PVPlacement(0,G4ThreeVector(0.*cm,0.*cm,BCz),BC501A_Logical,"BC501A_phys",
    DetOnedetector_Logical,false,0);

// outer cell

G4double outercell_Rinnen = 6.45*cm;
G4double outercell_Raussen = 7.50*cm;
G4double outercell_laenge = 3.65*cm;

G4Tubs* outercell = new G4Tubs("outercell",outercell_Rinnen, outercell_Raussen,
    outercell_laenge/2., startAngle, spanningAngle);

outercell_log = new G4LogicalVolume(outercell,BC501A,"outercell_log",0,0,0);

new G4PVPlacement(0,G4ThreeVector(0.*cm,0.*cm,(Alu_laenge/2.-0.32*cm)-
    outercell_laenge/2.),outercell_log,"outercell_phys", DetOnedetector_Logical,false,0);

G4VisAttributes* cellvis=new G4VisAttributes(G4Color(0.5,0.,0.));
outercell_log->SetVisAttributes(cellvis);

outercell_log ->SetSensitiveDetector(BC501Crystal);

// Fenster (Glas)
G4double Rinnen = 0.*cm;
G4double Raussen = 6.35*cm;
G4Material* Glass=Material->Get_Glass();

    // Fenster1
G4double Fenster1_laenge = 0.32*cm;

G4Tubs* Fenster1 = new G4Tubs("Fenster1",Rinnen, Raussen, Fenster1_laenge/2.,
    startAngle, spanningAngle);

Fenster1_log = new G4LogicalVolume(Fenster1,Glass,"Fenster1_log",0,0,0);

new G4PVPlacement(0,G4ThreeVector(0.*cm,0.*cm,-(BC501A_laenge/2.-
    BCz+Fenster1_laenge/2.)),Fenster1_log,"Fenster1_phys", DetOnedetector_Logical,false,0);

G4VisAttributes* Fenster_logvis=new G4VisAttributes(G4Color(0.,0.,0.5));
Fenster1_log->SetVisAttributes(Fenster_logvis);

    // Fenster2
G4double Fenster2_laenge = 0.64*cm;

```

```

G4Tubs* Fenster2 = new G4Tubs("Fenster2",Rinnen, Raussen, Fenster2_laenge/2.,
    startAngle, spanningAngle);

Fenster2_log = new G4LogicalVolume(Fenster2,Glass,"Fenster2_log",0,0,0);

new G4PVPlacement(0,G4ThreeVector(0.*cm,0.*cm,(-Alu_laenge/2.+
    Fenster2_laenge/2.)),Fenster2_log,"Fenster2_phys", DetOnedetector_Logical,false,0);

Fenster2_log->SetVisAttributes(Fenster_logvis);

// lightguide
G4Material* lightguide_material=Material->Get_Glass();

G4double lightguide_laenge = (Alu_laenge-BC501A_laenge-0.32*cm-Fenster1_laenge-Fenster2_laenge);

G4Tubs* lightguide= new G4Tubs("lightguide",Rinnen, Raussen, lightguide_laenge/2.,
    startAngle, spanningAngle);

lightguide_log = new G4LogicalVolume(lightguide,lightguide_material,"lightguide_log",0,0,0);

new G4PVPlacement(0,G4ThreeVector(0.*cm,0.*cm,(-Alu_laenge/2.+ Fenster2_laenge+
    lightguide_laenge/2.)),lightguide_log,"lightguide_phys", DetOnedetector_Logical,false,0);

lightguide_log->SetVisAttributes(Fenster_logvis);
}

DetOnedetector::~DetOnedetector(){
;
}

```

---

### A.3 Versuchsaufbau (DetectorConstruction.cc)

---

```

#include "DetectorConstruction.hh"

#include "G4Material.hh"
#include "G4MaterialTable.hh"
#include "G4Box.hh"
#include "G4Tubs.hh"
#include "G4LogicalVolume.hh"
#include "G4ThreeVector.hh"
#include "G4PVPlacement.hh"
#include "G4RotationMatrix.hh"
#include <vector>
#include "globals.hh"
#include "G4VisAttributes.hh"
#include "G4SubtractionSolid.hh"
#include "DetOnedetector.hh"

#include "G4RunManager.hh"

//Konstruktor
DetectorConstruction::DetectorConstruction()

```

```

{
    theDetectorMessenger=new DetectorMessenger(this);

    //Materialien initialisieren
    materials=new CustomMaterials();

    //Abstand Detektor-Quelle
    Detector_Distance=28.50*cm;
}

//Destruktor
DetectorConstruction::~DetectorConstruction()
{
}

G4VPhysicalVolume* DetectorConstruction::Construct(){

    G4Material* Vacuum=materials->Get_Vacuum();

    /***** Experimentierhalle (Welt)*****/

    G4double expHall_x = 2.*m;
    G4double expHall_y = 2.*m;
    G4double expHall_z = 2.*m;

    //Experimentierhalle Solid
    G4Box* expHall_dim =
        new G4Box("expHall_dim", expHall_x, expHall_y, expHall_z);

    //Experimentierhalle Logical
    G4LogicalVolume* expHall_log =
        new G4LogicalVolume(expHall_dim, Vacuum, "expHall_log", 0,0,0);

    //Experimentierhalle platzieren
    G4VPhysicalVolume* expHall_phys =
        new G4PVPlacement(0, G4ThreeVector(), expHall_log, "expHall", 0, false, 0);

    /*****Einbinden des DetOnedetektors*****/

    DetOnedetector* DetOnedetector_Objekt=new DetOnedetector("DetOnedetector");

    G4LogicalVolume* DetOnedetector_Logical=DetOnedetector_Objekt->Get_Logical();

    new G4PVPlacement(0, G4ThreeVector(0.*cm, 0.*cm, - Detector_Distance),
        DetOnedetector_Logical, "DetOnedetector", expHall_log, false, 0);

    G4cout << "Geometrie wurde initialisiert..." << G4endl;

    return expHall_phys;
}

```

---

## Literaturverzeichnis

---

- [1] M. Chernykh, *Electron Scattering on  $^{12}\text{C}$ , the Structure of the Hoyle State and a Neutron Ball for  $(e,e'n)$  Experiments at the S-DALINAC*, Dissertation D17, Technische Universität Darmstadt (2008).
- [2] Geant4 Collaboration, *Geant4 User's Guide for Application Developers*.
- [3] T. Novotný, *Photon Spectrometry in Mixed Neutron-Photon Fields using NE 213 Liquid Scintillation Detectors*, PTB-N 28, (1997).
- [4] BIRCON Corp. St. Gobain Ceramics Plastics, *BC-501/BC-501A/BC-519 Liquid Scintillators*, <http://www.detectors.saint-gobain.com>, Newbury, Ohio, USA, (2009).
- [5] BIRCON Corp. St. Gobain Ceramics Plastics, *SAINTE-GOBAIN CRYSTALS MATERIAL SAFETY DATA SHEET*, <http://www.detectors.saint-gobain.com>, Newbury, Ohio, USA, (2009).
- [6] <http://hypernews.slac.stanford.edu/HyperNews/geant4/get/geometry/714.html>
- [7] A.M. Heilmann, *Gamma calibration of a liquid scintillation neutron ball for electron scattering coincidence experiments at the S-DALINAC*, Bachelorarbeit, TU Darmstadt (2007).
- [8] M. Moszyński, G. J. Costa, G. Guillaume, B. Heusch, A. Huck, S. Moutatassim, *Study of  $n$ - $\gamma$  discrimination with NE213 and BC501A liquid scintillators of different size*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, North-Holland, (1994).
- [9] N. Patronis, M. Kokkoris, D. Giantsoudi, G. Perdikakis, C. T. Papadopoulos, R. Vlastou, *Aspects of GEANT4 Monte-Carlo calculations of the BC501A neutron detector*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), (2007).