

# Vergleichende Messung von Cs-137 in Umweltproben

Schriftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten  
Staatsprüfung für das Lehramt an  
Gymnasien/Gesamtschulen,  
dem Landesprüfungsamt - Außenstelle Köln

vorgelegt von:

MATTHIAS HEINEN

Köln, den 18.06.2018

---

Themensteller:

PD. DR. ERIK STRUB

Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät  
Abteilung Nuklearchemie

# Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>II</b>
<b>II</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>III</b>
	<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung und Motivation</b>	<b>2</b>
1.1	Einleitung . . . . .	2
1.2	Motivation . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Die gemessenen Proben</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Messungen</b>	<b>6</b>
3.1	Eine kurze Vorstellung der Programme . . . . .	7
3.2	Verfahrensweise der Auswertung . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Auswertung und Diskussion</b>	<b>21</b>
5.1	Vergleich der drei gewählten Grenzen . . . . .	21
5.1.1	Relativer Fehler der Peakflächen . . . . .	21
5.1.2	Relativer Flächenunterschied . . . . .	22
5.2	Auswertung der Fits in mittlere Grenzen . . . . .	23
5.3	Zwischenbilanz . . . . .	29
5.4	Vergleich von Aktivitäten . . . . .	29
<b>6</b>	<b>Abschlussdiskussion</b>	<b>32</b>
6.1	Methodik der Auswertung . . . . .	32
6.1.1	Wahl der Grenzen . . . . .	32
6.1.2	Auswertung in mittleren Grenzen . . . . .	32
6.2	Aktivität der Proben . . . . .	33
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>XXVIII</b>
	<b>Selbständigkeitserklärung</b>	<b>XXIX</b>

## Abbildungsverzeichnis

1	Zerfallsschema von Cs-137 . . . . .	2
2	Baumscheiben im Labor . . . . .	5
3	Bäume im Dünnwald Wald . . . . .	6
4	Beispielhafter Screenshot aus <i>Origin</i> . . . . .	7
5	Darstellung einer Glockenkurve . . . . .	9
6	Einfluss der drei gewählten Grenzen eines Fits in <i>Origin</i> . . . . .	10
7	Vergleich der relativen Fehler der Peakflächen . . . . .	21
8	Betrag der Differenz der Flächen aus <i>GammaVision</i> und <i>Origin</i> . . . . .	22
9	Peakflächen der Proben 1-55 . . . . .	24
10	Peakflächen der Proben 56-109 . . . . .	24
11	Peakflächen der Proben 110-154 . . . . .	25
12	Peakflächen der Proben 155-162 . . . . .	25
13	Differenz der relativen Fehler . . . . .	26
14	Messung für das Spektrum 14.PF.2.17.b.M . . . . .	27
15	Peakflächen Teil 4 von 4 mit zusätzlichem Punkt . . . . .	28
16	Prozentualer Flächenunterschied . . . . .	28
17	Peakfläche nach Baumhöhe . . . . .	30
18	Alle Aktivitäten . . . . .	31
19	Bodenproben aus dem Rabland in Südtirol . . . . .	31
20	Spektren für die Peaks mit starken Abweichungen. . . . .	33
21	Alle Spektren in einem Diagramm. . . . .	XXIII
22	Spektren von Moos und Rinde. . . . .	XXIV
23	Spektren vom Standort 14 mit Peakhöhe bis 200 Counts. . . . .	XXIV
24	Spektren vom Standort 14 mit Peakhöhe 200-300 Counts. . . . .	XXV
25	Spektren vom Standort 14 mit Peakhöhe ab 300 Counts. . . . .	XXV
26	Spektren von den Standorten 13 und 18. . . . .	XXVI
27	Spektren von Pfifferlingen. . . . .	XXVI
28	Spektren von schlechten Messungen. . . . .	XXVII

## Tabellenverzeichnis

1	Probenstandorte . . . . .	4
2	Legende zur Benennung der Spektren. . . . .	5
3	Ergebnisse für mittlere Grenzen. Fortlaufende Nummer des Spektrums, Name des Spektrums, Lage des Peaks, Fläche des Peaks, Messzeit, Ereignisse pro Sekunde, geschätzte Aktivität nach [4], absolute Differenz der Flächen und relative Differenz der Flächen Teil 1 von 9. GV=aus <i>GammaVision</i> , O=aus <i>Origin</i> . . . . .	12
3	Ergebnisse Teil 2 von 9 für mittlere Grenzen. . . . .	13
3	Ergebnisse Teil 3 von 9 für mittlere Grenzen. . . . .	14
3	Ergebnisse Teil 4 von 9 für mittlere Grenzen. . . . .	15
3	Ergebnisse Teil 5 von 9 für mittlere Grenzen. . . . .	16
3	Ergebnisse Teil 6 von 9 für mittlere Grenzen. . . . .	17
3	Ergebnisse Teil 7 von 9 für mittlere Grenzen. . . . .	18
3	Ergebnisse Teil 8 von 9 für mittlere Grenzen. . . . .	19
3	Ergebnisse Teil 9 von 9 für mittlere Grenzen. . . . .	20
4	Messungen Teil 1/4 . . . . .	IV
5	Messungen Teil 2/4 . . . . .	V
6	Messungen Teil 3/4 . . . . .	VI
7	Messungen Teil 4/4 . . . . .	VII
8	Ergebnisse von Messungen ohne Peak in mittleren Grenzen . . . . .	VIII
9	Ergebnisse von Messungen ohne Peak in engen Grenzen . . . . .	VIII
10	Ergebnisse Teil 1 von 7 für enge Grenzen . . . . .	IX
11	Ergebnisse Teil 2 von 7 für enge Grenzen. . . . .	X
12	Ergebnisse Teil 3 von 7 für enge Grenzen. . . . .	XI
13	Ergebnisse Teil 4 von 7 für enge Grenzen. . . . .	XII
14	Ergebnisse Teil 5 von 7 für enge Grenzen. . . . .	XIII
15	Ergebnisse Teil 6 von 7 für enge Grenzen. . . . .	XIV
16	Ergebnisse Teil 7 von 7 für enge Grenzen. . . . .	XV
17	Ergebnisse Teil 1 von 7 für weite Grenzen . . . . .	XVI
18	Ergebnisse Teil 2 von 7 für weite Grenzen . . . . .	XVII
19	Ergebnisse Teil 3 von 7 für weite Grenzen . . . . .	XVIII
20	Ergebnisse Teil 4 von 7 für weite Grenzen . . . . .	XIX
21	Ergebnisse Teil 5 von 7 für weite Grenzen . . . . .	XX
22	Ergebnisse Teil 6 von 7 für weite Grenzen . . . . .	XXI
23	Ergebnisse Teil 7 von 7 für weite Grenzen . . . . .	XXII
24	Ergebnisse von Messungen ohne Peak in weiten Grenzen . . . . .	XXIII

## Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden 175  $\gamma$ -Spektren von Umweltproben unterschiedlicher Herkunft und Art mit den zwei Programmen *GammaVision* und *Origin* in Hinsicht auf ihren  $^{137}\text{Cs}$  Gehalt hin ausgewertet und sowohl die Resultate der gleichen Proben aus den beiden unterschiedlichen Programmen miteinander verglichen als auch verschiedene Proben untereinander. Es wird der Versuch unternommen eine Vorschrift zum Auswerten von Peaks in *Origin* zu entwickeln, die in möglichst vielen Spektren die genauesten Ergebnisse erzielt.

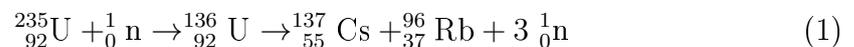
Dies geschieht, indem in *Origin* über drei verschieden große Bereiche gefittet wird, und der Bereich bestimmt wird, der die genauesten Ergebnisse liefert. Die Fits aus diesem Bereich werden daraufhin mit den Resultaten der Auswertung in *GammaVision* verglichen, um zu bestimmen, wie groß die Abweichungen zwischen den Programmen sind.

Im Anschluss werden die  $^{137}\text{Cs}$  Aktivitäten der Proben untereinander verglichen. Zum einen Holzproben desselben Baumes in Abhängigkeit der Wuchshöhe, zum anderen Bodenproben eines Standorts in Abhängigkeit der Höhe über NN. Zum Abschluss wird die abgeschätzte Aktivität aller Spektren im Vergleich zueinander betrachtet.

# 1 Einleitung und Motivation

## 1.1 Einleitung

Am 26. April 1986 ereignete sich in der Nähe der sowjetischen Stadt *Prybjat* in der heutigen Ukraine im Kernkraftwerk *Tschernobyl* das bisher größte Unglück in einem Kernkraftwerk[2]. Es war das Resultat eines fehlgeschlagenen Versuchs, einen vollständigen Ausfall der externen Stromversorgung zu simulieren, unter groben Verletzungen von Sicherheitsvorgaben. Durch die verursachte Explosion und die folgenden Graphitbrände gelangen eine Vielzahl radioaktiver Nuklide in die Umwelt. Darunter etwa 280 PBq  $^{137}\text{Cs}$  [2], welches in derart großem Umfang freigesetzt wurde, da es bei der Spaltung von  $^{235}\text{U}$  entsteht (Formel (1)), das als Brennstoff im Reaktor genutzt wurde. In den folgenden Tagen wurden diese Nuklide über weite Teile Europas verteilt und durch den andauernden Ostwind der damals herrschte besonders über Westeuropa, wo sie durch Niederschläge aus der Atmosphäre ausgewaschen wurden und in den Boden gelangten. Dies war der erste, und bis zum Unfall im Kernkraftwerk *Fukushima Daiichi* am 11. März 2011 infolge eines Erdbebens mit folgendem Tsunami auch der einzige, Unfall der Stufe 7, der höchsten Stufe der INES-Skala (*eng. International Nuclear and Radiological Event Scale*)[3] zur Klassifizierung von Stör- und Unfällen in kerntechnischen Anlagen.



Das  $^{137}\text{Cs}$  zerfällt über  $\beta^-$ -Zerfall in  $^{137m}\text{Ba}$  oder  $^{137}\text{Ba}$ . Das  $^{137m}\text{Ba}$  geht mit einer Lebensdauer von 2,55 Minuten über einen  $\gamma$ -Zerfall zum  $^{137}\text{Ba}$  über (**Abbildung 1**). Dieser Übergang hat eine Energie von 661,66 keV, und ist deutlich im Spektrum von  $^{137}\text{Cs}$  erkennbar.

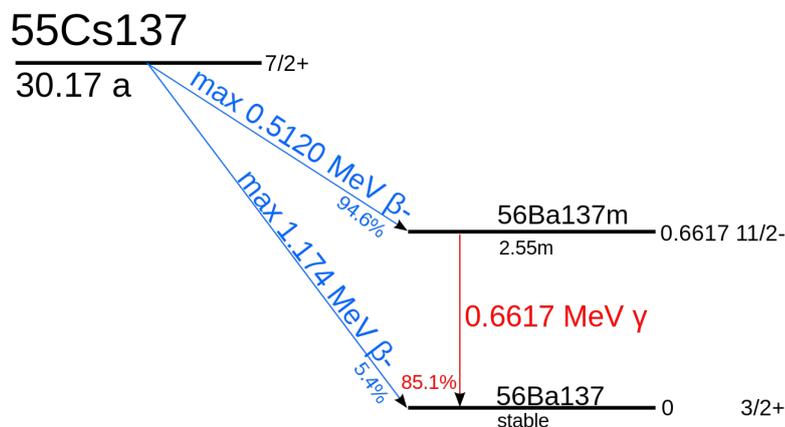


Abbildung 1: Zerfallsschema von Cs-137. (Quelle: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cs-137-decay.svg>)

Diesen charakteristischen Peak kann man sich zu Nutzen machen, um  $^{137}\text{Cs}$  in Umweltproben nachzuweisen. Schon kurz nach dem Reaktorunfall wurden im

Rahmen eines Projekts unter dem Namen *Atlas of Caesium deposition on Europe after the Chernobyl accident*[1], an dem sich Institute aus der Ukraine, Russland, Weißrussland und der EU in einer Kollaboration beteiligten und über 400.000 Messungen erhoben, um das Ausmaß der Kontamination durch  $^{137}\text{Cs}$  in Europa zu bestimmen. Hierzu wurden Bodenproben auf ihren  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalt hin untersucht.

In der *Abteilung Nuklearchemie* an der Universität zu Köln wurden bereits verschiedene Arbeiten zum Nachweis von  $^{137}\text{Cs}$  in Pilz- und Bodenproben angefertigt ([4][5][6][7]).

## 1.2 Motivation

In den vorherigen Arbeiten wurde die Auswertung von Spektren in der Regel mit dem Programm *GammaVision* der Firma *ORTEC* durchgeführt. Dies ist jedoch besonders bei größeren Datensätzen sehr zeitaufwändig, denn dass gleichzeitige Auswerten mehrerer Spektren ist nicht vorgesehen. Da dies jedoch häufiger von Nöten ist, soll eine Alternative gefunden werden. Abhilfe könnte hier ein Softwarewechsel schaffen. Eine Möglichkeit wäre die Software *Origin* der Firma *OriginLabs Corporation*. Mithilfe dieser Software ist es problemlos möglich, bis zu 100 Spektren gleichzeitig auszuwerten. Dies vereinfacht die Auswertung besonders bei der Untersuchung einzelner diskreter Peaks. Außerdem lassen sich Ergebnisse direkt im selben Programm graphisch darstellen und weiterführende Rechnungen können ebenso durchgeführt werden.

Während *GammaVision* eine Software explizit zum Aufnehmen und Auswerten von  $\gamma$ -Spektren darstellt, auf diese Zwecke zugeschnitten ist und einige Features wie z. B. einen automatischen Abgleich der erhobenen Daten mit einer internen Bibliothek bietet, ist *Origin* ein allgemeines Werkzeug zum Analysieren und Plotten von Daten. Hier ist ein automatischer Abgleich mit einer Datenbank dementsprechend nicht möglich, jedoch ist das auch nicht bei jeder Tätigkeit gefordert. So ist z. B. das Auswerten zahlreicher Spektren in Hinsicht auf einen bestimmten Peak im Spektrum, wie beispielsweise den 661,66 keV Peak im  $^{137}\text{Cs}$  nicht notwendig, denn das ursächliche Isotop ist bereits bekannt. Außerdem liegt dieser Peak oft isoliert im Spektrum vor, ist also hinreichend diskret um mit *Origin* ausgewertet zu werden. Des weiteren hat *GammaVision* den Nachteil, dass bei der Analyse lediglich die Kanäle aufsummiert werden und ein an mehrere Punkte linear angepasster Untergrund abgezogen wird. In *Origin* hingegen wird eine Funktion an die Werte angelegt und über die Variation mehrerer Parameter angepasst. Dies kann, besonders bei kleinen Zählraten, genauere Ergebnisse erzielen. In dieser Arbeit sollen nun Auswertungen von 175 Spektren mit *GammaVision* sowie *Origin* vorgenommen werden, und die Ergebnisse auf Abweichungen und Validität überprüft werden.

## 2 Die gemessenen Proben

Im Rahmen dieser Arbeit wurden insgesamt 175 Spektren untersucht. Ein Großteil der Messungen wurde vorab durch die Abteilung Nuklearchemie durchgeführt. Es wurden vorrangig Holzproben von Bäumen genommen sowie einige Pilzproben von Pfifferlingen, Moos- und Rindenproben und Bodenproben. Die Proben stammen von 5 verschiedenen Orten (**Tabelle 1**), wobei die Mehrzahl der Proben aus dem Dünwald in Köln stammen. Hier wurden diverse Proben von einer Hemlocktanne (**Abbildung 3(a)**) und einer Buche (**Abbildung 3(b)**) entnommen. Die gewonnenen Baumscheiben wurden im Labor getrocknet (**Abbildung 2**) und in Würfel von 5 cm Kantenlänge geschnitten. Anschließend wurden diese mit einem Halbleiterdetektor auf  $\gamma$ -Strahlung hin untersucht.

Die Pilzproben wurden getrocknet und in speziellen Behältern nach durch die Vorarbeiten [4][5] vorgegebenem Verfahren gemessen. Ebenso die Bodenproben, nach den Vorgaben entsprechender Vorarbeiten [6][7]. Rinden- Moos- und Mixproben aus beiden wurden gleichermaßen in diesen Behältern vermessen.

Die Proben wurden nach **Tabelle 2** systematisch benannt. Jeder Name beginnt mit einer Kennziffer für den Standort (*vgl. Tabelle 1*) und endet mit einem Kürzel für den verwendeten Detektor bzw. die ihn umgebende Bleiburg (stets „M“ für die *Mainzer Burg*).

Tabelle 1: Standorte zur Entnahme von Probenmaterial für die Messung der in dieser Arbeit behandelten Spektren, mit Kennnummern und Anzahl der Spektren.

Kennziffer	Probenstandort	Anzahl Spektren
8	Schmallenberg (NRW)	2
13	Rabland (Südtirol)	29
14	Köln Dünwald	141
17	Maikammer (Pfalz)	1
18	Trentin (Italien)	2

Die Benennung der Spektren wurde wie folgt durchgeführt:

Tabelle 2: Legende zur Benennung der Spektren.

Name	Art der Probe	Bedeutung
8.b.i.M	Baumprobe	b=Buche i=fortlaufend in einer Scheibe
13.i.N.M	Bodenprobe	i=Tiefe 1:0-5 cm, 2:5-10 cm N=Meter über NN
13.Pf.17.M	Pilzprobe	Pf=Pfifferling 17=Jahr der Probennahme
13.St.17.M	Pilzprobe	St=Steinpilz 17=Jahr der Probennahme
14.BuXM	Baumprobe	Bu=Buche X=m Baumhöhe
14.HemX	Baumprobe	Hem=Hemlocktanne X=m Baumhöhe
14.Xm/n.i.h.M	Baumprobe	X=m Baumhöhe m/n=1./2. Messung i=fortl. in einer Scheibe h=Hemlocktanne
14.Xm.i.b.M	Baumprobe	Xm=m Baumhöhe i=fortlaufend in einer Scheibe b=Buche
14.rindeX.M	Rindenprobe	X=fortlaufend
14.moos.h.M	Moosprobe	h=Hemlocktanne
14.mix.b.M	Mixprobe	b=Buche
14.Pf.i.17(b).M	Pilzprobe	Pf=Pfifferling i=fortlaufend 17=Jahr der Probennahme b=2. Messung
14.St.17.(a/b).M	Pilzprobe	St=Steinpilz 17=Jahr a/b=1./2.Messung
14.Ci.h.M	Bodenprobe	C=x,y,z Lage in abgestecktem Areal i=Tiefe 3:10-15 cm h=Hemlocktanne
18.i.M	Bodenprobe	i=Tiefe



Abbildung 2: Getrocknete Baumscheiben im Labor vor der Zerteilung in Würfel zur Messung. (Quelle: Selbst erstellt)



(a) Tanne



(b) Buche

Abbildung 3: Eine umgefallene Tanne und Buche im Dünnwald Wald vom Förster markiert für die Uni Köln. (Quelle: Selbst erstellt)

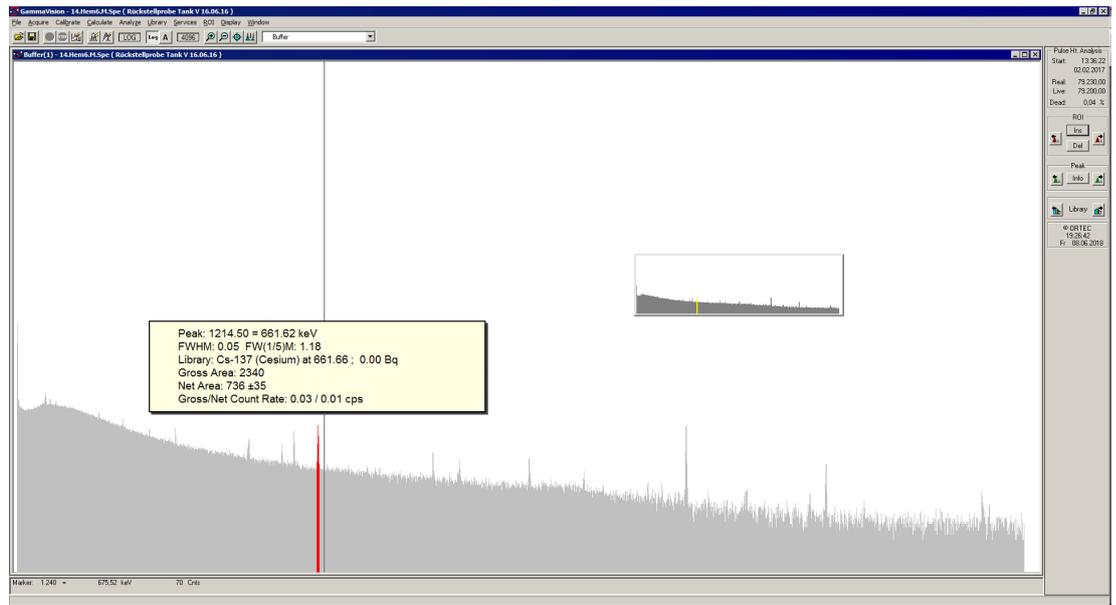
### 3 Messungen

Mittels des GeLi-Halbleiterdetektors der *Mainzer Burg* wurden in den Räumlichkeiten der Abteilung Nuklearchemie zwischen dem 1. Dezember 2016 und dem 22. Januar 2018  $\gamma$ -Spektren der unter Kapitel 2. beschriebenen Umweltproben aufgenommen. Die Messzeit betrug bei allen Spektren 79200 s bis auf einige wenige Ausnahmen (*vgl. Tabelle 4-7 im Anhang rot markiert*).

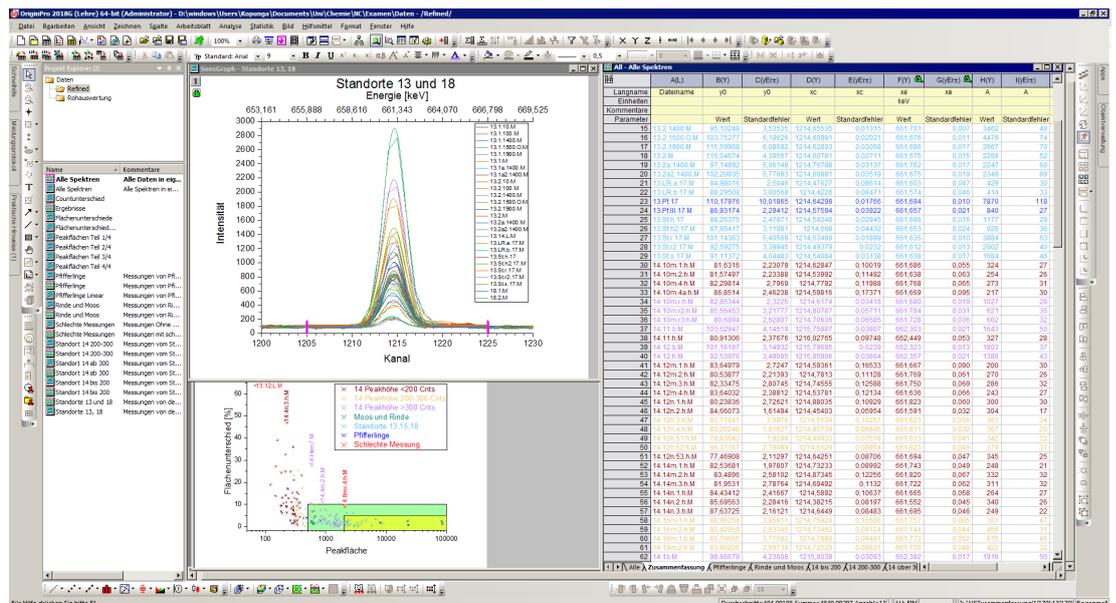
Für die absolute Bestimmung der Aktivität eines Radionuklids in Proben ist die Messung eines Standards, oder eine absolute Kalibrierung notwendig. Dies kommt

daher, dass sowohl die Messgeometrie von Probe und Detektor sowie die Effizienz des Detektors Einfluss auf die Anzahl der gemessenen Ereignisse hat. Durch einen Standard bekannten Gehalts kann eine Eichung für Effizienz und Geometrie vorgenommen werden und auf die Aktivität der unbekannt Probe geschlossen werden. Da ein solcher Standard für Holzproben nicht zur Verfügung stand, können in dieser Arbeit lediglich vergleichende Studien angestellt, und keine genauen quantitativen Gehalte an  $^{137}\text{Cs}$  bestimmt werden.

### 3.1 Eine kurze Vorstellung der Programme



(a) *GammaVision*



(b) *Origin*

Abbildung 4: Beispielhafte Screenshots aus beiden Programmen. (Quelle: Selbst erstellt)

**Abbildung 4(a)** zeigt eine beispielhafte Auswertung des  $^{137}\text{Cs}$  Peaks in einem Spektrum mittels *GammaVision*. Angegeben sind die Lage des Maximums (Kanal und Energie nach im Spektrum vorgegebener Eichung), Halbwertsbreite (FWHM *eng. Full Width Half Maximum*) sowie Breite auf einem Fünftel der Höhe des Peaks (FW(1/5)M), der nächstgelegene Treffer in der internen Datenbank, die Bruttofläche des Peaks inklusive Untergrund, die Nettofläche des Peaks nach Abzug des Untergrunds sowie Brutto- und Nettozählrate bezogen auf die Messzeit, und relative Häufigkeit des Peaks.

**Abbildung 4(b)** zeigt ein *Origin*-Fenster mit einer Auswahl an Grafiken und Tabellen. So sieht man oben links eine Darstellung diverser Spektren, die einen Zoom auf den üblichen Peak zeigt, sowie die jeweils an die Peaks angepassten Kurven. Rechts ist eine Tabelle mit Ergebnissen dieser Anpassungen, unter anderem der Dateiname, die Höhe des Peaks, die Lage des Peaks (in dieser Darstellung nach Kanal) daraus errechnet die Lage des Peaks nach Energie sowie die Fläche des Peaks und zu allen Werten die entsprechenden Standardfehler. Außerdem sind in der Tabelle aufgeführt, die breite des Peaks mit Fehler und statistische Größen aus der Anpassung, alles nach persönlichem Belieben farblich markiert zur Übersicht bei der Auswertung. Unten links ist eine Grafik zu sehen, in der die Flächen der Peaks mit anderen Messwerten verglichen werden.

## 3.2 Verfahrensweise der Auswertung

Die Auswertung erfolgte auf zwei verschiedene Arten. Zunächst wurde in *GammaVision* die Funktion der automatischen Peaksuche verwendet. *GammaVision* wählt Kanäle, die nach der festgelegten Energieeichung den Peak ausmachen, und addiert den Inhalt. Dies ergibt die Bruttofläche (*gross area*). Dann wählt das Programm um den Peak herum automatisch bis zu 5 Punkte auf jeder Seite des Peaks im Untergrund des Spektrums und passt an diese eine Gerade an. Die Fläche unter dieser Gerade auf Breite des Peaks wird von der Bruttofläche abgezogen. Dies bildet die Nettofläche (*net area*) [8]. Dies wurde für jedes Spektrum einzeln vorgenommen. Die Ergebnisse wurden per Hand in eine Tabelle in *Origin* überführt.

Die Auswertung der Spektren in *Origin* wurde durchgeführt, indem alle Spektren in eine Grafik geladen wurden und bis zu 100 gleichzeitig ausgewählt und ein Peak gefittet wurde. Als Modell für den Fit wurde *Gaussian* mit der vorgegebenen Formel (2) gewählt, um eine Glockenkurve über den Peak zu fitten (*vgl. Abbildung 5*). Dies geschieht über die Variation der Parameter  $A$ ,  $y_0$ ,  $x_c$  und  $w$  (also Fläche, Nulllage, Mittelpunkt und Halbwertsbreite), deren Startwert frei wählbar ist. Bei diesem Fit wird der Untergrund als konstant ( $y_0$ ) angenommen. Der Mittelpunkt des Peaks liegt durchschnittlich im Kanal 1215, daher wurde

für die Grenzen des Fits auf der X-Achse eine der drei folgenden Möglichkeiten gewählt: *eng* ( $\pm 5$  Kanäle  $\hat{=}$  Kanal 1210-1220) *mittel* ( $\pm 10$  Kanäle  $\hat{=}$  Kanal 1205-1225) oder *weit* ( $\pm 15$  Kanäle  $\hat{=}$  Kanal 1185-1230). Zu beachten war hierbei, dass die Nummerierung der Kanäle in *Origin* bei 1 beginnt, während *GammaVision* bei 0 zu zählen anfängt, dementsprechend wären dies für *mittel* die Kanäle 1204-1224 in *GammaVision*. Dies ist relevant für die Energiekalibrierung der Spektren, also die obere Achse des Graphen in *Origin* z. B. in **Abbildung 6**. Diese Abbildung zeigt den Fit anhand des Beispiels eines Spektrums. Es ist sichtbar, dass sich  $y_0$  bei der Wahl der drei Grenzen deutlich unterscheidet.

$$y = y_0 + \frac{A e^{-\frac{4 \ln(2)(x-x_c)^2}{w^2}}}{w \sqrt{\frac{\pi}{4 \ln(2)}}} \quad (2)$$

Die Ergebnisse aus den Fits wurden in dieselbe Tabelle wie die Werte aus *GammaVision* eingefügt (siehe **Tabelle 3** im Teil **Ergebnisse**) und im Anschluss graphisch ausgewertet.

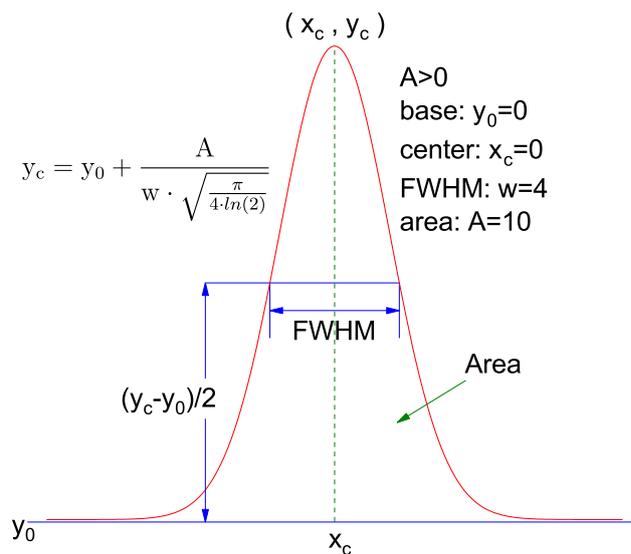


Abbildung 5: Darstellung einer Glockenkurve mit Angabe einiger wichtiger Parameter. (Quelle: Selbst erstellt nach *Origin*)

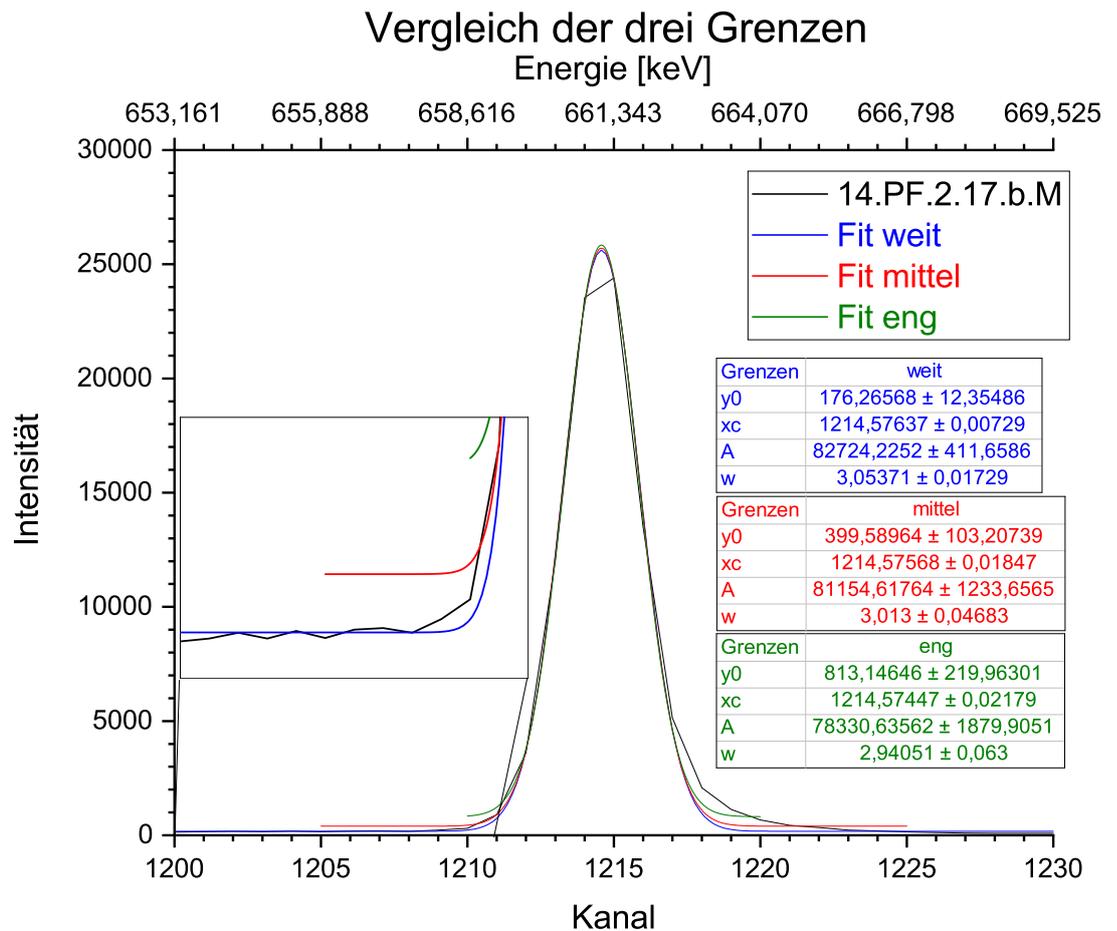


Abbildung 6: Einfluss der drei gewählten Grenzen eines Fits in *Origin*.

## 4 Ergebnisse

Insgesamt wurden Peaks in 175 individuellen Messungen von Proben von 5 verschiedenen Standorten gemessen. Die meisten Proben stammen von einer Hemlocktanne aus dem Dünnwalder Wald im Nordosten Kölns. Einige Proben wurden mehrfach vermessen.

In einer der Vorarbeiten [4] wurde eine Effizienzzeichnung für den 661,66 keV Peak in Wildpilzen durchgeführt; diese kann aufgrund der ähnlichen Messgeometrie und der Verwendung desselben Detektors als Richtwert verwendet werden, um die Aktivität der Proben abzuschätzen.

In der folgenden **Tabelle 3** befinden sich die festgestellten Werte aus den Auswertungen des Peaks bei 661,66 keV innerhalb der mittleren Grenzen (1205-1225) aller Spektren, da diese als Grundlage dieser Arbeit dienen. Die Ergebnisse für enge und weite Grenzen befinden sich im Anhang. Ebenso die der Spektren, für die sich bei besagter Energie kein Peak feststellen lassen konnte, das heißt Spektren, bei denen der Peak so klein war, dass *GammaVision* keine Auswertung vornehmen konnte. In diesen Fällen versucht *Origin* zwar auch einen Fit, jedoch liefert dieser keine sinnvollen Ergebnisse, also teils viel zu hohe Flächen, negative

Flächen oder mit Fehlern welche Größenordnungen größer sind als die Flächen selbst. Es ist davon auszugehen, dass der Gehalt an  $^{137}\text{Cs}$  in diesen Proben zu gering ist um ihn nachzuweisen (*Spektren Nummer 163-175*).

Die **Tabelle 3** wurde aufsteigend nach Fläche des Peaks in der Auswertung mit *GammaVision* sortiert, da dies eine übersichtliche Ordnung in die Werte bringt, und beim Vergleich mit allen drei Grenzen gleich bleibt, was die Werte untereinander vergleichbar macht. Diese Sortierung bildet die Grundlage für die Nummerierung der Spektren, die im Folgenden verwendet wird. Sie beinhalten neben der Nummer und Bezeichnung des Spektrums die Lage des Maximums des Peaks aus beiden Programmen auf der Energieskala, die Fläche des Peaks aus beiden Programmen, die Ereignisse pro Sekunde (*Counts*) aus der Auswertung mit *Origin*, die sich aus dem Quotienten aus Fläche und Messzeit ergeben, die Messzeit in Sekunden, die mit der Eichung [4] abgeschätzte Aktivität in Becquerel, die absolute Differenz der Flächen aus *Origin* und *GammaVision*, sowie der relative Anteil dieser Differenz an der Fläche des Peaks aus *GammaVision*.

$$\text{Counts} = \frac{\text{Fläche O}}{\text{Messzeit}} \quad (3)$$

$$\text{Aktivität} = \frac{\text{Counts}}{0,851 \cdot 0,02729} \quad (4)$$

$0,851 \hat{=}$  Häufigkeit des Peaks (85,1%) |  $0,02729 \hat{=}$  Angenommene Effizienz (2,729%)

$$\text{Fläche abs} = |\text{Fläche GV} - \text{Fläche O}| \quad (5)$$

$$\text{Fläche rel} = \frac{\text{Fläche abs}}{\text{Fläche GV}} \cdot 100 \quad (6)$$

Aus den **Tabelle 3** wird ersichtlich, dass die Peakflächen stark variieren. Von Werten um 100 Counts bei denen diskutiert werden könnte, ob es sich überhaupt um einen Peak handelt, bis hin zu über 80.000 Counts. Unter den aktivsten Proben befinden sich vor allem die Messungen von Pfifferlingen, was auch ohne die Messung mittels eines Standards nahelegt, dass Pfifferlinge merklich mehr  $^{137}\text{Cs}$  aufnehmen als die untersuchten Bäume, da gerade die höchsten Werte von Pfifferlingen aus demselben Wald wie die Mehrzahl der Holzproben stammen, somit der Standort als Begründung für den großen Unterschied ausgeschlossen werden kann. Ebenso akkumulieren Pfifferlinge das  $^{137}\text{Cs}$ , wodurch diese Proben höhere Aktivitäten aufweisen als die Bodenproben. Die Proben mit der niedrigsten Aktivität sind besonders die Proben der Buche. Die Buche als Baum mit tiefen Wurzeln bezieht einen Großteil ihrer Nährstoffe aus größeren Tiefen, in denen die Konzentration an  $^{137}\text{Cs}$  gering ist [6]. Im Mittelfeld befinden sich Bodenproben und Proben der Hemlocktanne. Diese hat eher flache Wurzeln, welche sich über einen größeren Bereich ausbreiten, dadurch kann sie wesentlich mehr  $^{137}\text{Cs}$  aufnehmen als beispielsweise die Buche.

Tabelle 3: Ergebnisse für mittlere Grenzen. Fortlaufende Nummer des Spektrums, Name des Spektrums, Lage des Peaks, Fläche des Peaks, Messzeit, Ereignisse pro Sekunde, geschätzte Aktivität nach [4], absolute Differenz der Flächen und relative Differenz der Flächen  
Teil 1 von 9. GV=aus *GammaVision*, O=aus *Origin*

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	Messzeit [s]	Counts O [1/s]	Aktivität [Bq]	Fläche abs	Fläche rel [%]
1	13.12.L.M	661,23	661,281 ± 0,120	68 ± 43	111 ± 25	79200	1,40E-03	0,06	43	63,60
2	14.8n.5.h.M	660,17	660,764 ± 0,114	122 ± 45	99 ± 22	79200	1,25E-03	0,05	23	18,78
3	14.6m.1o.h.M	661,07	661,072 ± 0,084	148 ± 45	168 ± 25	79200	2,13E-03	0,09	20	13,83
4	14.2m.1.h.M	661,18	661,125 ± 0,069	149 ± 46	189 ± 23	79200	2,39E-03	0,10	40	27,03
5	14.4n.5.h.M	660,99	660,970 ± 0,104	160 ± 45	222 ± 34	79200	2,81E-03	0,12	62	38,91
6	14.6m.4.h.M	661,03	661,088 ± 0,072	180 ± 46	196 ± 23	79200	2,48E-03	0,11	16	9,11
7	14.6m.2a.h.M	661,12	661,163 ± 0,093	184 ± 46	197 ± 33	79200	2,48E-03	0,11	13	6,92
8	14.Hem4b.M	661,71	661,685 ± 0,055	185 ± 46	203 ± 25	79200	2,56E-03	0,11	18	9,61
9	14.4n.4.h.M	661,13	661,119 ± 0,059	186 ± 46	231 ± 24	79200	2,92E-03	0,13	45	24,26
10	14.12m.1.h.M	661,11	661,121 ± 0,090	189 ± 45	200 ± 30	79200	2,53E-03	0,11	11	6,01
11	14.10m.4a.h.M	661,09	661,124 ± 0,095	192 ± 47	217 ± 30	79200	2,74E-03	0,12	25	13,08
12	14.moos.h.M	661,25	661,329 ± 0,080	200 ± 45	179 ± 25	79200	2,26E-03	0,10	21	10,46
13	14.Hem1.M	662,07	661,898 ± 0,042	215 ± 47	268 ± 21	79200	3,39E-03	0,15	53	24,77
14	14.12m.3.h.M	661,14	661,204 ± 0,069	216 ± 46	286 ± 32	79200	3,61E-03	0,16	70	32,39
15	14.14n.3.h.M	661,19	661,149 ± 0,046	218 ± 47	249 ± 22	79200	3,14E-03	0,14	31	14,04
16	14.4n.1.h.M	661,44	661,334 ± 0,057	222 ± 44	198 ± 21	79200	2,50E-03	0,11	24	10,87
17	14.Hem2b.M	661,91	661,801 ± 0,084	223 ± 47	244 ± 34	79200	3,07E-03	0,13	21	9,20

Tabelle 3: Ergebnisse Teil 2 von 9 für mittlere Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	Messzeit [s]	Counts O [1/s]	Aktivität [Bq]	Fläche abs	Fläche rel [%]
18	14.6m.3.h.M	661,04	661,175 ± 0,068	224 ± 46	244 ± 30	79200	3,08E-03	0,13	20	8,86
19	14.12m.4.h.M	661,09	661,091 ± 0,066	228 ± 46	243 ± 27	79200	3,06E-03	0,13	15	6,38
20	14.4n.3.h.M	661,09	661,193 ± 0,077	229 ± 48	337 ± 41	79200	4,25E-03	0,18	108	46,94
21	14.Hem5bx.M	661,80	661,782 ± 0,042	234 ± 46	274 ± 21	79200	3,46E-03	0,15	40	17,12
22	14.8n.2.h.M	661,53	661,281 ± 0,052	239 ± 46	279 ± 25	79200	3,52E-03	0,15	40	16,72
23	14.6m.1.h.M	661,14	661,066 ± 0,087	240 ± 46	299 ± 40	79200	3,77E-03	0,16	59	24,53
24	14.4n.2.h.M	661,20	661,241 ± 0,055	243 ± 46	274 ± 24	79200	3,46E-03	0,15	31	12,75
25	14.10m.2.h.M	661,10	661,092 ± 0,063	261 ± 45	254 ± 26	79200	3,21E-03	0,14	7	2,71
26	14.8n.3.h.M	661,07	661,077 ± 0,044	264 ± 46	329 ± 23	79200	4,16E-03	0,18	65	24,79
27	14.14m.1.h.M	661,18	661,197 ± 0,049	270 ± 45	248 ± 21	79200	3,13E-03	0,13	22	8,25
28	14.12n.2.h.M	661,01	661,045 ± 0,032	274 ± 47	304 ± 17	79200	3,84E-03	0,17	30	10,99
29	14.10m.4.h.M	661,17	661,223 ± 0,065	277 ± 46	273 ± 31	79200	3,44E-03	0,15	4	1,54
30	14.8n.4.h.M	661,19	661,198 ± 0,076	277 ± 45	292 ± 34	79200	3,69E-03	0,16	15	5,46
31	14.Hem5b.M	661,88	661,902 ± 0,046	281 ± 46	324 ± 22	79200	4,09E-03	0,18	43	15,19
32	14.8m.3.h.M	661,21	661,213 ± 0,056	290 ± 46	264 ± 27	79200	3,34E-03	0,14	26	8,85
33	14.14m.3.h.M	661,15	661,177 ± 0,062	290 ± 46	311 ± 32	79200	3,93E-03	0,21	21	7,24
34	14.6m.5.h.M	661,20	661,220 ± 0,067	290 ± 48	394 ± 39	79200	4,97E-03	0,17	104	35,86
35	14.12m.2.h.M	661,14	661,224 ± 0,061	292 ± 45	270 ± 26	79200	3,41E-03	0,15	22	7,64

Tabelle 3: Ergebnisse Teil 3 von 9 für mittlere Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	Messzeit [s]	Counts O [1/s]	Aktivität [Bq]	Fläche abs	Fläche rel [%]
36	14.12n.3.h.M	661,06	661,078 ± 0,056	295 ± 47	363 ± 34	79200	4,58E-03	0,20	68	23,01
37	14.rinde12.M	661,05	661,008 ± 0,058	296 ± 49	358 ± 33	79200	4,52E-03	0,19	62	21,04
38	14.Hem3b.M	661,73	661,758 ± 0,049	298 ± 47	294 ± 24	79200	3,71E-03	0,16	4	1,46
39	14.8n.1.h.M	661,20	661,284 ± 0,047	299 ± 45	282 ± 23	79200	3,56E-03	0,15	17	5,82
40	14.6m.2.h.M	661,07	661,005 ± 0,054	300 ± 46	284 ± 23	79200	3,58E-03	0,15	16	5,47
41	14.14n.1.h.M	661,03	661,119 ± 0,058	303 ± 46	264 ± 27	79200	3,33E-03	0,16	39	12,91
42	14.6m.1.a.h.M	661,16	661,184 ± 0,071	303 ± 47	295 ± 31	79200	3,72E-03	0,14	8	2,69
43	14.12n.1.h.M	661,19	661,278 ± 0,060	307 ± 45	300 ± 30	79200	3,79E-03	0,16	7	2,28
44	14.11.h.M	661,89	661,904 ± 0,053	310 ± 46	327 ± 28	79200	4,13E-03	0,18	17	5,43
45	14.St.17.b.M	661,11	661,154 ± 0,062	311 ± 49	377 ± 35	79200	4,76E-03	0,21	66	21,34
46	14.St.17.M	660,97	660,976 ± 0,076	312 ± 48	347 ± 37	79200	4,38E-03	0,19	35	11,21
47	14.12n.51.h.M	661,09	661,067 ± 0,041	320 ± 46	342 ± 22	79200	4,32E-03	0,19	22	7,01
48	14.2m.5.h.M	661,22	661,257 ± 0,049	320 ± 47	334 ± 26	79200	4,22E-03	0,18	14	4,52
49	13.14.L.M	661,17	661,149 ± 0,043	325 ± 47	366 ± 25	79200	4,62E-03	0,20	41	12,59
50	14.10m.1.h.M	661,06	661,140 ± 0,055	328 ± 46	324 ± 27	79200	4,09E-03	0,18	4	1,30
51	14.Hem1a.M	661,85	661,837 ± 0,056	333 ± 48	374 ± 32	79200	4,72E-03	0,20	41	12,22
52	14.2m.2.h.M	661,23	661,249 ± 0,071	336 ± 46	367 ± 37	79200	4,64E-03	0,20	31	9,33
53	14.12n.53.h.M	661,15	661,148 ± 0,047	336 ± 45	345 ± 25	75396	4,58E-03	0,20	9	2,72

Tabelle 3: Ergebnisse Teil 4 von 9 für mittlere Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	Messzeit [s]	Counts O [1/s]	Aktivität [Bq]	Fläche abs	Fläche rel [%]
54	14.16m.1.h.M	660,86	661,212 ± 0,085	336 ± 49	361 ± 47	79200	4,56E-03	0,20	25	7,38
55	14.Hem1b.M	661,82	661,801 ± 0,065	337 ± 45	286 ± 29	79200	3,61E-03	0,16	51	15,25
56	14.4m.5.h.M	661,16	661,175 ± 0,050	339 ± 47	324 ± 29	79200	4,09E-03	0,18	15	4,54
57	14.12n.52.h.M	661,07	661,077 ± 0,049	340 ± 48	379 ± 31	79200	4,79E-03	0,21	39	11,53
58	14.R4.h.M	661,28	661,185 ± 0,050	342 ± 47	360 ± 27	79200	4,55E-03	0,20	18	5,29
59	14.14n.2.h.M	661,03	661,006 ± 0,045	343 ± 47	340 ± 26	79200	4,30E-03	0,19	3	0,76
60	14.12n.4.h.M	661,22	661,265 ± 0,032	354 ± 46	367 ± 20	79200	4,63E-03	0,20	13	3,60
61	14.6m.5o.h.M	661,01	660,991 ± 0,082	355 ± 46	303 ± 32	79200	3,83E-03	0,16	52	14,66
62	14.R4.h.w.M	661,18	661,249 ± 0,045	356 ± 48	446 ± 34	79200	5,63E-03	0,24	90	25,28
63	14.rinde11.M	661,08	661,104 ± 0,047	357 ± 49	395 ± 31	79200	4,98E-03	0,21	38	10,55
64	14.14m.2.h.M	661,38	661,274 ± 0,067	371 ± 46	332 ± 32	79200	4,19E-03	0,18	39	10,59
65	14.41.h.M	661,74	661,801 ± 0,064	373 ± 47	342 ± 35	79200	4,32E-03	0,19	31	8,35
66	14.2m.4.h.M	661,04	661,067 ± 0,038	374 ± 46	390 ± 23	79200	4,93E-03	0,21	16	4,34
67	14.St.17.a.M	661,06	661,096 ± 0,041	390 ± 48	413 ± 28	79200	5,22E-03	0,22	23	5,93
68	14.rinde5.M	661,10	661,059 ± 0,049	402 ± 50	495 ± 39	79200	6,25E-03	0,27	93	23,07
69	14.y3.h.M	661,41	661,387 ± 0,056	409 ± 51	480 ± 40	79200	6,06E-03	0,26	71	17,38
70	14.2m.3.h.M	661,15	661,121 ± 0,057	416 ± 47	422 ± 36	79200	5,32E-03	0,23	6	1,33
71	13.LR.b.17.M	660,99	661,028 ± 0,046	417 ± 49	414 ± 33	79200	5,22E-03	0,22	3	0,77

Tabelle 3: Ergebnisse Teil 5 von 9 für mittlere Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	Messzeit [s]	Counts O [1/s]	Aktivität [Bq]	Fläche abs	Fläche rel [%]
72	14.y2.h.M	661,26	661,255 ± 0,057	425 ± 50	447 ± 38	77095	5,80E-03	0,25	22	5,13
73	14.18m.2.h.M	661,25	661,193 ± 0,048	430 ± 48	422 ± 32	79200	5,33E-03	0,23	8	1,85
74	14.rinde2.M	661,11	661,082 ± 0,034	430 ± 49	446 ± 25	79200	5,64E-03	0,24	16	3,84
75	14.16m.2.h.M	661,16	661,198 ± 0,044	457 ± 48	456 ± 31	79200	5,76E-03	0,25	1	0,22
76	13.LR.a.17.M	660,95	661,057 ± 0,047	467 ± 48	429 ± 30	79200	5,42E-03	0,23	38	8,05
77	14.R5.h.M	661,09	661,070 ± 0,047	489 ± 48	473 ± 36	79200	5,97E-03	0,26	16	3,29
78	17.Pf.17.M	661,23	661,215 ± 0,048	492 ± 49	472 ± 37	79200	5,96E-03	0,26	20	4,05
79	14.4m.1.h.M	661,11	661,114 ± 0,026	556 ± 48	524 ± 22	79200	6,62E-03	0,29	32	5,68
80	14.31.h.M	661,78	661,765 ± 0,045	575 ± 51	635 ± 42	79200	8,02E-03	0,35	60	10,44
81	14.rinde3.M	661,15	661,116 ± 0,041	579 ± 50	566 ± 38	79200	7,15E-03	0,31	13	2,25
82	14.R3	661,24	661,205 ± 0,036	584 ± 50	608 ± 34	79200	7,68E-03	0,33	24	4,12
83	14.rinde6.M	661,08	661,148 ± 0,035	586 ± 50	600 ± 31	79200	7,58E-03	0,33	14	2,41
84	14.Hem7.M	661,07	661,758 ± 0,024	590 ± 50	752 ± 29	79200	9,49E-03	0,41	162	27,44
85	14.rinde7.M	661,07	661,056 ± 0,035	590 ± 50	599 ± 35	79200	7,56E-03	0,33	9	1,51
86	14.rinde9.M	661,09	661,108 ± 0,032	599 ± 48	558 ± 28	79200	7,05E-03	0,30	41	6,81
87	14.rinde10.M	661,15	661,165 ± 0,035	626 ± 51	634 ± 33	79200	8,00E-03	0,34	8	1,21
88	14.18m.1.h.M	661,18	661,228 ± 0,052	628 ± 49	615 ± 46	79200	7,77E-03	0,33	13	2,04
89	14.rinde4.M	661,21	661,209 ± 0,035	631 ± 50	638 ± 32	79200	8,05E-03	0,35	7	1,07

Tabelle 3: Ergebnisse Teil 6 von 9 für mittlere Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	Messzeit [s]	Counts O [1/s]	Aktivität [Bq]	Fläche abs	Fläche rel [%]
90	14.rinde1.M	661,16	661,094 ± 0,048	634 ± 49	643 ± 44	79200	8,12E-03	0,35	9	1,42
91	14.10m.r2.h.M	661,20	661,238 ± 0,031	646 ± 50	621 ± 35	79200	7,84E-03	0,34	25	3,85
92	14.10m.r3.h.M	661,15	661,183 ± 0,036	648 ± 49	602 ± 32	79200	7,59E-03	0,33	46	7,17
93	14.rinde8.M	661,03	661,076 ± 0,042	666 ± 51	696 ± 45	79200	8,79E-03	0,38	30	4,56
94	14.x1.h.M	661,30	661,285 ± 0,029	679 ± 49	613 ± 29	79200	7,74E-03	0,33	66	9,77
95	14.2b.M	661,78	661,829 ± 0,023	723 ± 54	712 ± 27	79200	8,99E-03	0,39	11	1,56
96	14.Hem3.M	661,64	661,670 ± 0,029	753 ± 52	739 ± 34	79200	9,33E-03	0,40	14	1,86
97	13.Pf.III.17.M	661,11	661,112 ± 0,021	819 ± 53	840 ± 27	79200	1,06E-02	0,46	21	2,62
98	14.Hem2.M	661,81	661,801 ± 0,019	820 ± 53	879 ± 27	79200	1,11E-02	0,48	59	7,19
99	14.Hem4.M	661,76	661,751 ± 0,025	841 ± 52	803 ± 32	79200	1,01E-02	0,44	38	4,53
100	14.4m.4.h.M	661,13	661,125 ± 0,028	873 ± 53	882 ± 37	79200	1,11E-02	0,48	9	1,04
101	14.4m.2.h.M	661,14	661,155 ± 0,025	893 ± 54	993 ± 37	79200	1,25E-02	0,54	100	11,19
102	14.21.h.M	661,81	661,807 ± 0,019	924 ± 85	955 ± 28	79200	1,21E-02	0,52	31	3,36
103	13.St.h2.17.M	661,09	661,107 ± 0,024	948 ± 54	925 ± 36	79200	1,17E-02	0,50	23	2,40
104	14.Hem5.M	661,76	661,751 ± 0,020	960 ± 53	926 ± 30	79200	1,17E-02	0,50	34	3,51
105	14.22.h.M	661,80	661,836 ± 0,025	1000 ± 56	1076 ± 40	79200	1,36E-02	0,58	76	7,57
106	14.4m.3.h.M	661,07	661,100 ± 0,021	1030 ± 53	1017 ± 32	79200	1,28E-02	0,55	13	1,27
107	14.10m.r.h.M	661,13	661,134 ± 0,019	1045 ± 53	1027 ± 28	79200	1,30E-02	0,56	18	1,72

Tabelle 3: Ergebnisse Teil 7 von 9 für mittlere Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	Messzeit [s]	Counts O [1/s]	Aktivität [Bq]	Fläche abs	Fläche rel [%]
108	14.Hem2L.M	661,78	661,800 ± 0,018	1100 ± 56	1074 ± 29	79200	1,36E-02	0,58	26	2,34
109	13.St.h.17	661,14	661,121 ± 0,016	1159 ± 56	1177 ± 29	79200	1,49E-02	0,64	18	1,59
110	14.y1.h.M	661,40	661,363 ± 0,020	1174 ± 56	1233 ± 39	79200	1,56E-02	0,67	59	5,06
111	14.32.h.M	661,78	661,740 ± 0,024	1212 ± 58	1220 ± 45	79200	1,54E-02	0,66	8	0,67
112	14.x2.h.M	661,33	661,309 ± 0,018	1359 ± 59	1339 ± 40	79200	1,69E-02	0,73	20	1,48
113	14.22.b.M	661,76	661,795 ± 0,016	1375 ± 59	1353 ± 35	79200	1,71E-02	0,74	22	1,61
114	14.51.b.M	661,75	661,745 ± 0,021	1396 ± 60	1399 ± 44	79200	1,77E-02	0,76	3	0,23
115	14.12.h.M	661,81	661,812 ± 0,021	1402 ± 58	1380 ± 43	79200	1,74E-02	0,75	22	1,59
116	14.52.b.M	661,79	661,818 ± 0,021	1434 ± 60	1385 ± 44	79200	1,75E-02	0,75	49	3,38
117	14.42.b.M	661,79	661,762 ± 0,020	1465 ± 60	1448 ± 46	79200	1,83E-02	0,79	17	1,17
118	14.mix.b.M	661,79	661,806 ± 0,013	1466 ± 61	1533 ± 32	79200	1,94E-02	0,83	67	4,56
119	14.20m.1.h.M	661,29	661,229 ± 0,025	1474 ± 58	1461 ± 56	79200	1,84E-02	0,79	13	0,89
120	13.1.1400.M	661,09	661,063 ± 0,011	1474 ± 60	1453 ± 25	79200	1,83E-02	0,79	21	1,41
121	14.32.b.M	661,74	661,708 ± 0,020	1498 ± 60	1458 ± 45	79200	1,84E-02	0,79	40	2,64
122	14.21.b.M	661,71	661,716 ± 0,017	1533 ± 61	1494 ± 40	79200	1,89E-02	0,81	39	2,54
123	14.41.b.M	661,74	661,748 ± 0,020	1540 ± 60	1457 ± 45	79200	1,84E-02	0,79	83	5,41
124	14.1L.M	661,74	661,741 ± 0,014	1574 ± 60	1568 ± 34	79200	1,98E-02	0,85	6	0,40
125	14.Hem6aM	661,76	661,770 ± 0,011	1610 ± 59	1603 ± 28	79200	2,02E-02	0,87	7	0,46

Tabelle 3: Ergebnisse Teil 8 von 9 für mittlere Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	Messzeit [s]	Counts O [1/s]	Aktivität [Bq]	Fläche abs	Fläche rel [%]
126	14.Hem6.M	661,75	661,730 ± 0,017	1621 ± 60	1566 ± 43	79200	1,98E-02	0,85	55	3,42
127	14.11.b.M	661,72	661,757 ± 0,021	1642 ± 63	1643 ± 50	79200	2,07E-02	0,89	1	0,05
128	14.31.b.M	661,76	661,745 ± 0,015	1718 ± 63	1681 ± 38	79200	2,12E-02	0,91	37	2,13
129	13.St.s.17.M	661,09	661,093 ± 0,017	1720 ± 61	1684 ± 46	79200	2,13E-02	0,92	36	2,12
130	14.12.b.M	661,78	661,778 ± 0,013	1782 ± 64	1803 ± 37	79200	2,28E-02	0,98	21	1,16
131	14.1b.M	661,85	661,836 ± 0,017	1953 ± 65	1916 ± 50	79200	2,42E-02	1,04	37	1,90
132	13.St.r2.17.M	661,08	661,067 ± 0,013	2048 ± 63	2002 ± 40	79200	2,53E-02	1,09	46	2,27
133	13.1.10.M	661,18	661,185 ± 0,012	2063 ± 67	2059 ± 39	79200	2,60E-02	1,12	4	0,21
134	14.St.2.b.17.M	661,04	661,046 ± 0,012	2069 ± 64	2089 ± 37	79200	2,64E-02	1,14	20	0,96
135	14.8mx.4.h.M	661,13	661,161 ± 0,022	2089 ± 144	2274 ± 80	792000	2,87E-03	0,12	185	8,87
136	13.2.10.M	661,13	661,122 ± 0,010	2092 ± 68	2073 ± 35	79200	2,62E-02	1,13	19	0,91
137	14.St.2.17.M	661,02	661,043 ± 0,011	2142 ± 64	2120 ± 35	79200	2,68E-02	1,15	22	1,01
138	14.z1.h.M	661,32	661,318 ± 0,013	2188 ± 64	2142 ± 45	79200	2,70E-02	1,16	46	2,09
139	13.1a2.1400.M	661,16	661,131 ± 0,019	2226 ± 64	2092 ± 61	79200	2,64E-02	1,14	134	6,03
140	13.2.M	661,13	661,129 ± 0,015	2266 ± 70	2268 ± 52	79200	2,86E-02	1,23	2	0,09
141	13.2a.1400.M	661,23	661,217 ± 0,017	2300 ± 66	2247 ± 60	79200	2,84E-02	1,22	53	2,31
142	13.2.100.M	661,14	661,131 ± 0,018	2314 ± 70	2350 ± 68	79200	2,97E-02	1,28	36	1,57
143	13.1a.1400.M	661,18	661,150 ± 0,015	2396 ± 68	2409 ± 56	79200	3,04E-02	1,31	13	0,55

Tabelle 3: Ergebnisse Teil 9 von 9 für mittlere Grenzen.

144	13.2a2.1400.M	661,13	661,130 $\pm$ 0,019	2419 $\pm$ 68	2349 $\pm$ 69	79200	2,97E-02	1,28	70	2,91
145	14.z2.h.M	661,30	661,295 $\pm$ 0,015	2508 $\pm$ 68	2482 $\pm$ 56	79200	3,13E-02	1,35	26	1,05
146	13.2.1900.M	661,16	661,141 $\pm$ 0,017	2835 $\pm$ 72	2667 $\pm$ 70	79200	3,37E-02	1,45	168	5,91
147	18.1.M	661,15	661,163 $\pm$ 0,010	2945 $\pm$ 70	2940 $\pm$ 45	79200	3,71E-02	1,60	5	0,16
148	14.42.h.M	661,78	661,770 $\pm$ 0,017	3050 $\pm$ 73	3040 $\pm$ 75	79200	3,84E-02	1,65	10	0,33
149	13.1.100.M	661,14	661,126 $\pm$ 0,013	3288 $\pm$ 74	3234 $\pm$ 64	79200	4,08E-02	1,76	54	1,65
150	13.1.1500.O.M	661,13	661,111 $\pm$ 0,014	3403 $\pm$ 75	3404 $\pm$ 72	79200	4,30E-02	1,85	1	0,02
151	13.2.1400.M	661,15	661,155 $\pm$ 0,007	3483 $\pm$ 75	3462 $\pm$ 40	77922	4,44E-02	1,91	21	0,61
152	14.52.h.M	661,81	661,781 $\pm$ 0,016	3835 $\pm$ 79	3793 $\pm$ 92	79200	4,79E-02	2,06	42	1,09
153	13.St.r.17.M	661,08	661,089 $\pm$ 0,010	3978 $\pm$ 78	3884 $\pm$ 63	79200	4,90E-02	2,11	94	2,36
154	13.2.1500.O.M	661,13	661,130 $\pm$ 0,011	4600 $\pm$ 82	4476 $\pm$ 74	79200	5,65E-02	2,43	124	2,69
155	13.1.M	661,11	661,108 $\pm$ 0,013	5750 $\pm$ 93	5722 $\pm$ 114	79200	7,22E-02	3,11	28	0,48
156	13.1.1900.M	661,15	661,131 $\pm$ 0,015	6728 $\pm$ 95	6515 $\pm$ 150	79200	8,23E-02	3,54	213	3,17
157	13.Pf.17	661,17	661,148 $\pm$ 0,010	8000 $\pm$ 102	7870 $\pm$ 118	79200	9,94E-02	4,28	130	1,62
158	18.2.M	661,17	661,162 $\pm$ 0,008	8878 $\pm$ 105	8735 $\pm$ 102	79200	1,10E-01	4,75	143	1,61
159	14.Pf.17b.M	661,11	661,098 $\pm$ 0,010	22752 $\pm$ 161	22211 $\pm$ 323	79200	2,80E-01	12,08	541	2,38
160	14.Pf.17.M	661,04	661,058 $\pm$ 0,008	23343 $\pm$ 164	23185 $\pm$ 281	79200	2,93E-01	12,61	158	0,68
161	14.PF.2.17.b.M	661,12	661,112 $\pm$ 0,010	83075 $\pm$ 301	81155 $\pm$ 1234	79200	1,02E+00	44,12	1920	2,31
162	14.Pf.2.17.M	661,04	661,051 $\pm$ 0,008	85650 $\pm$ 306	84674 $\pm$ 1040	79200	1,07E+00	46,04	976	1,14

## 5 Auswertung und Diskussion

### 5.1 Vergleich der drei gewählten Grenzen

Es werden die Ergebnisse der Fits in allen drei gewählten Grenzen in Hinblick auf verschiedene Parameter untersucht.

#### 5.1.1 Relativer Fehler der Peakflächen

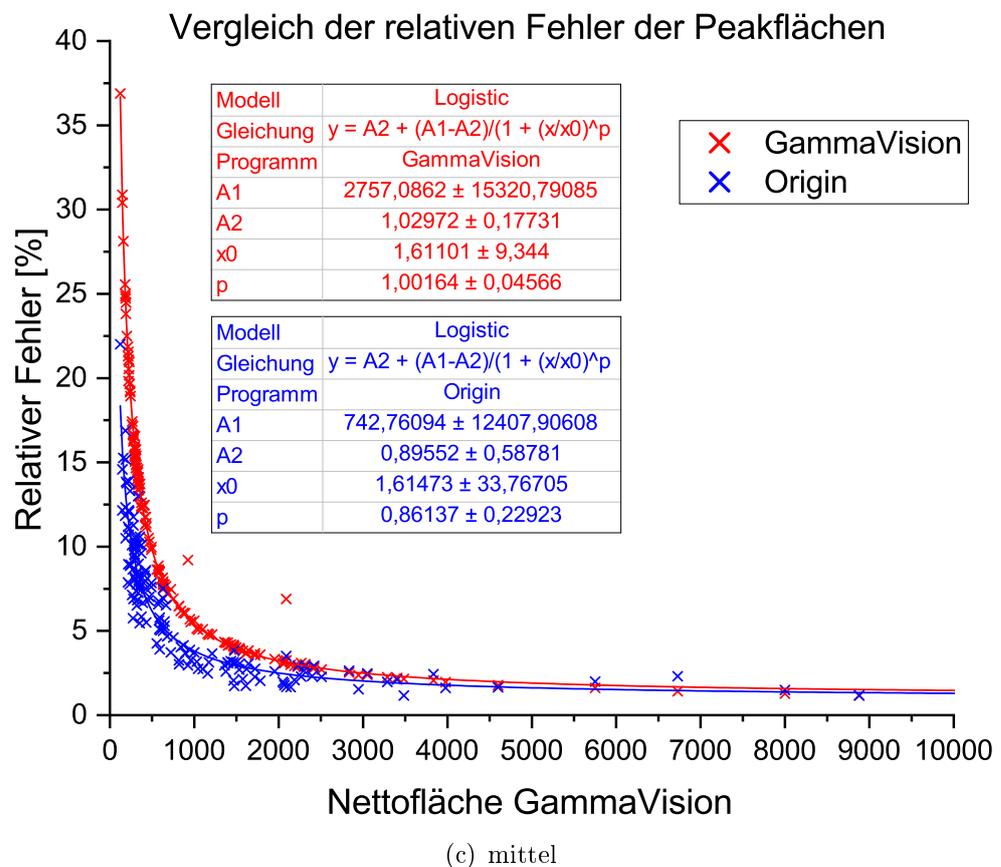
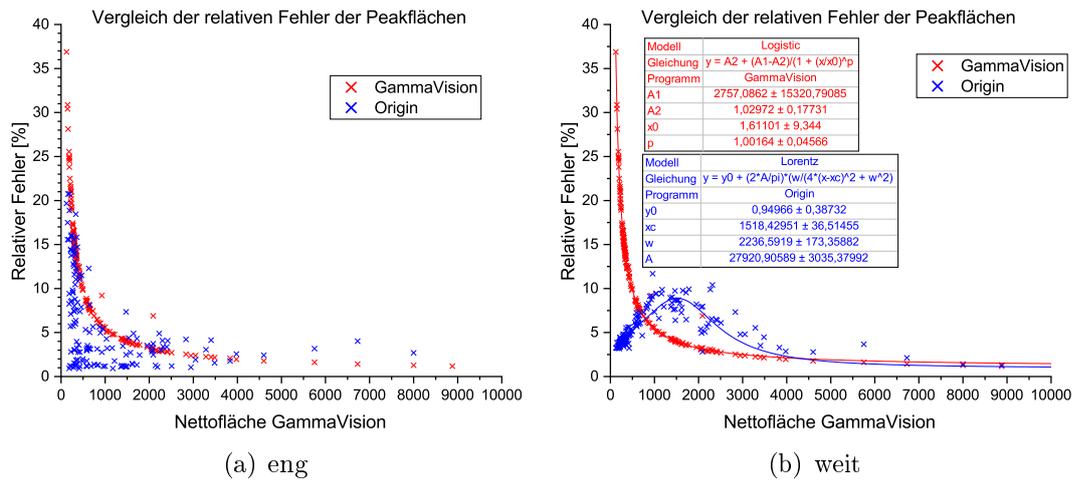


Abbildung 7: Vergleich der relativen Fehler der Peakflächen für eng mittel und weit gefittete Peaks.

Die **Abbildungen 7(a)-7(c)** vergleichen den relativen Fehler (nach Formel (6)) aller Peakflächen aus *GammaVision* mit denen aus *Origin* für die drei Grenzen. Hierfür wurden die in beiden Programmen bestimmten Fehler der Flächen durch die entsprechenden Flächen geteilt und als Prozentzahl über die Fläche des Peaks in *GammaVision* aufgetragen.

Es wird deutlich, dass allein durch die Betrachtung der relativen Fehler scheinbar alle Grenzen Vor- und Nachteile bieten. So ist für sehr kleine und große Peaks der relative Fehler in engen Grenzen sehr hoch, jedoch für Peaks von ein paar 100 bis zu etwa 2000 Ereignissen ist der relative Fehler hier am geringsten.

Weite Grenzen liefern sehr kleine relative Fehler im Bereich sehr kleiner Peaks von bis zu etwa 400 Ereignissen und bei sehr großen Peaks über 6000 Ereignissen. Im Bereich von etwa 1000 bis 3000 Ereignissen ist der relative Fehler hier jedoch am größten.

Für mittlere Grenzen ist der relative Fehler im Bereich bis ca. 500 Ereignisse größer als in weiten Grenzen und teils größer, teils kleiner als in engen Grenzen. Im Bereich um etwa 1000 bis 3000 ist der relative Fehler in mittleren Grenzen am stärksten konsistent klein. Demnach bilden die mittleren Grenzen das Ergebnis für den besten relativen Fehler gesehen auf den kompletten Bereich ab.

### 5.1.2 Relativer Flächenunterschied

Nachdem der relative Fehler betrachtet wurde, wird als nächstes die Fläche der Peaks untersucht. Insbesondere der Unterschied der in *Origin* bestimmten Fläche zu der, die die Auswertung mit *GammaVision* ergab, da diese als Referenz dient.

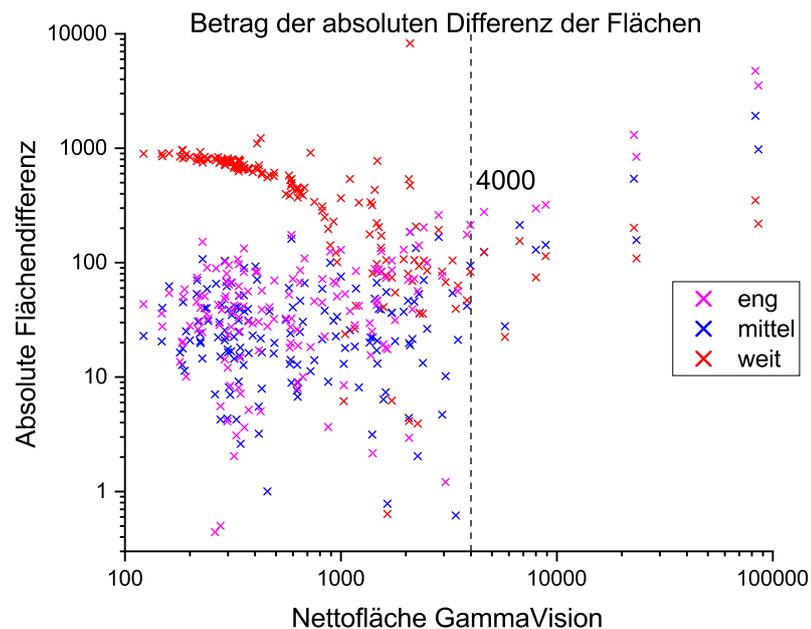


Abbildung 8: Betrag der Differenz der Flächen aus *GammaVision* und *Origin* für enge, mittlere und weite Grenzen.

Aus **Abbildung 8** wird ersichtlich, dass die Unterschiede in den Flächen der Peaks für enge Grenzen hohe Werte annehmen, besonders bei kleinen Flächen, wo die Unterschiede bis zu einer Größenordnung über den Referenzflächen liegen. Die Unterschiede sind bei kleineren Peaks für mittlere Grenzen am geringsten und ab einer Fläche von etwa 4000 für weite Grenzen konsistent am geringsten. Dies legt den Schluss nahe, dass für größere Peaks über einen breiteren Abschnitt um den Peak herum gefittet werden sollte, jedoch sollten die Grenzen auch bei schmalen Peaks nicht zu eng gesteckt werden.

Eine Erklärung hierfür wäre, dass in engen Grenzen zu wenig Bereich um den Peak herum vom Fit erfasst wird, was den Untergrund zu hoch setzt (*vgl. Abbildung 6*). Dies führt zu großen Differenzen in den Peakflächen, aber nicht zwangsweise zu höheren relativen Fehlern. Je schärfer der Peak ist (kleine Halbwertsbreite), desto geringer dieser Effekt. In weiten Grenzen ist in jedem Peak hinreichend Untergrund für eine Anpassung abgedeckt, jedoch ist bei der Anpassung durch *Origin* der Untergrund überall konstant. Ist im Spektrum aber der Untergrund nicht waagrecht, so kann der angepasste Untergrund auch höher oder niedriger liegen, als er eigentlich sollte. Dies kann ebenso zu einer Verfälschung der Werte führen. Bei der Auswertung für mittlere Grenzen ist außer für sehr breite Peaks stets hinreichend Untergrund für eine Anpassung inbegriffen, jedoch weniger als bei weiten, was zu geringerer Abweichung als bei weiten Grenzen führt. Werden die Peaks jedoch zu groß, und haben damit höhere Halbwertsbreiten, befindet sich zu wenig Untergrund im Bereich der Anpassung und der Fit wird schlechter.

## 5.2 Auswertung der Fits in mittlere Grenzen

Nachdem festgestellt wurde, dass die mittleren Grenzen die insgesamt besten Resultate gesehen auf den gesamten Bereich liefern, wird von nun an auf Basis dieser weiter verfahren.

Zunächst wird ein Vergleich der bestimmten Peakflächen aus *GammaVision* und *Origin* durchgeführt (**Abbildung 9-12**).

Die meisten Werte stimmen innerhalb der Fehlergrenzen überein. Tendenziell werden besonders die niedrigen Werte von *GammaVision* unterschätzt. Auffällig ist, dass bei vielen Messungen, die eine geringe Übereinstimmung aufweisen, die Werte aus *Origin* höher sind. Ursächlich hierfür vor Allem ist die Sortierung der Werte nach Fläche des Peaks in *GammaVision*. Unterschätzt *GammaVision* die Fläche des Peaks, sieht es in der Zeichnung fälschlicherweise so aus, als läge der Wert aus *Origin* zu hoch. So liegt z. B. bei Probe 84 der *Origin* Wert merklich über dem von *GammaVision*, und könnte so als Ausreißer erscheinen, er liegt aber etwa in Höhe des Wertes von Probe 96 welcher wesentlich näher an dem der entsprechenden Messung aus *GammaVision* liegt. Die beiden Messungen sind unterschiedliche Proben derselben Baumscheibe.

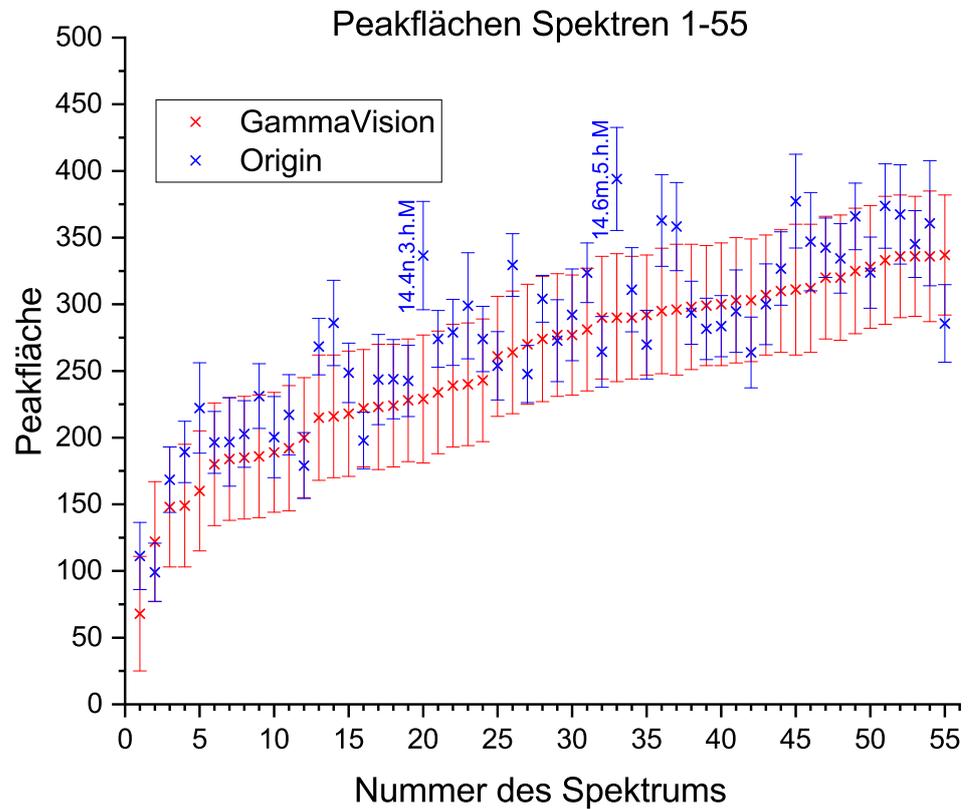


Abbildung 9: Peakflächen aus *Origin* und *GammaVision* der Proben 1-55. Auffällige Werte, bei denen eine große Abweichung zu beobachten war, wurden mit dem Dateinamen des Spektrums beschriftet.

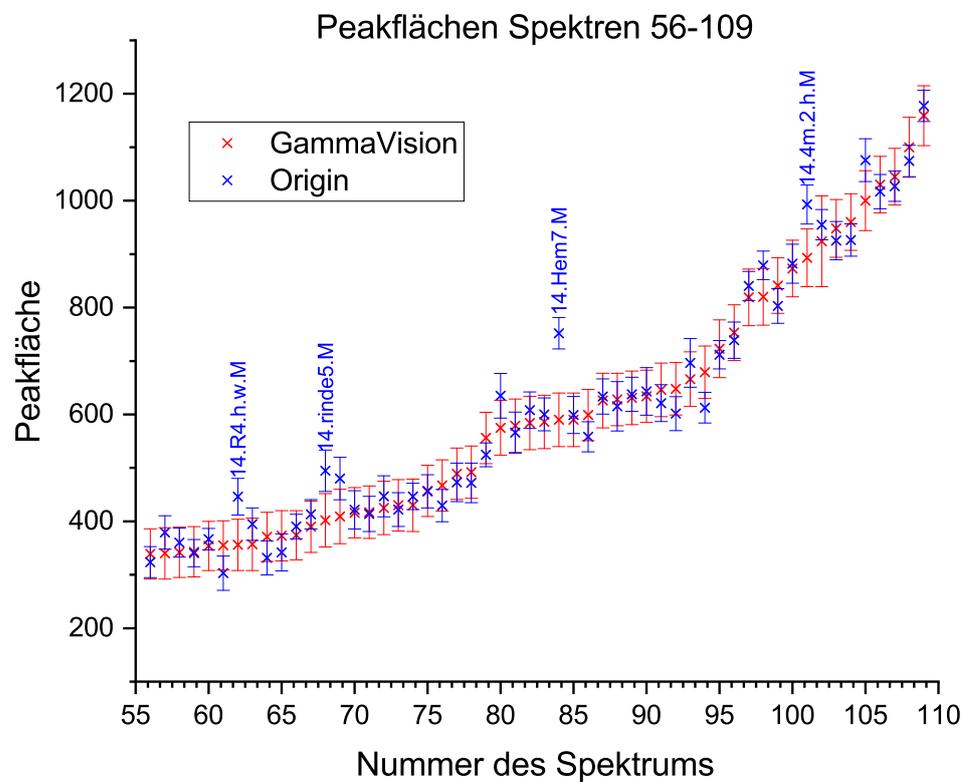


Abbildung 10: Peakflächen der Proben 56-109.

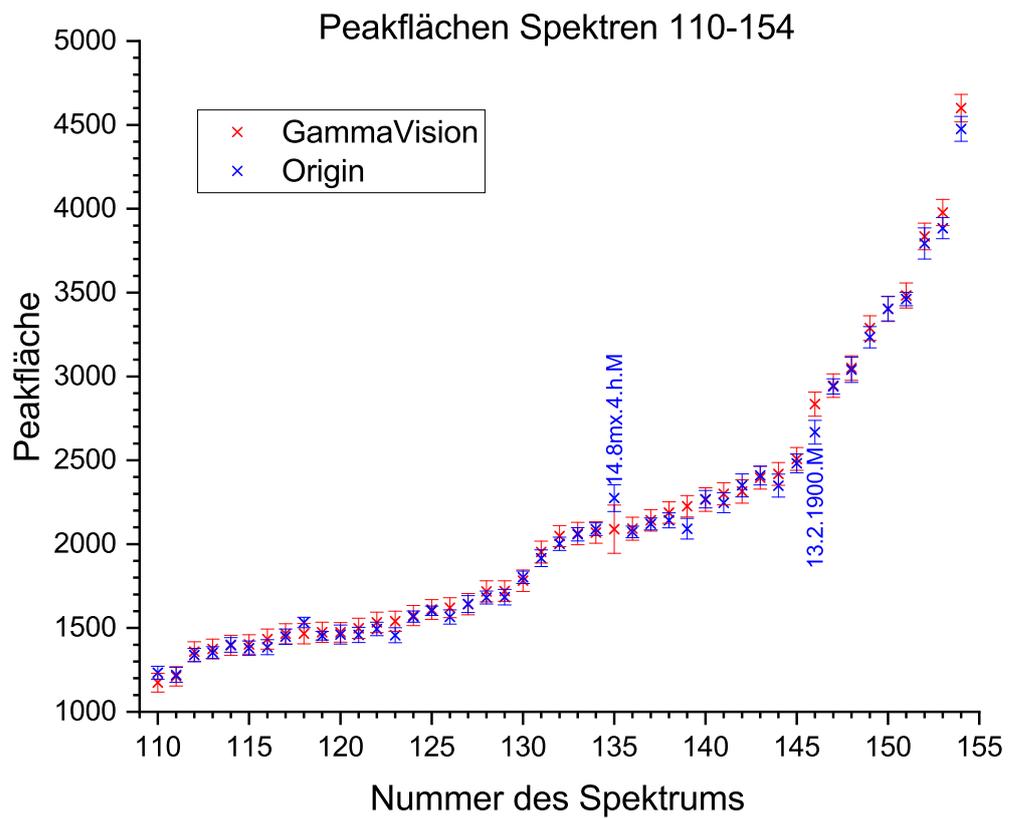


Abbildung 11: Peakflächen der Proben 110-154.

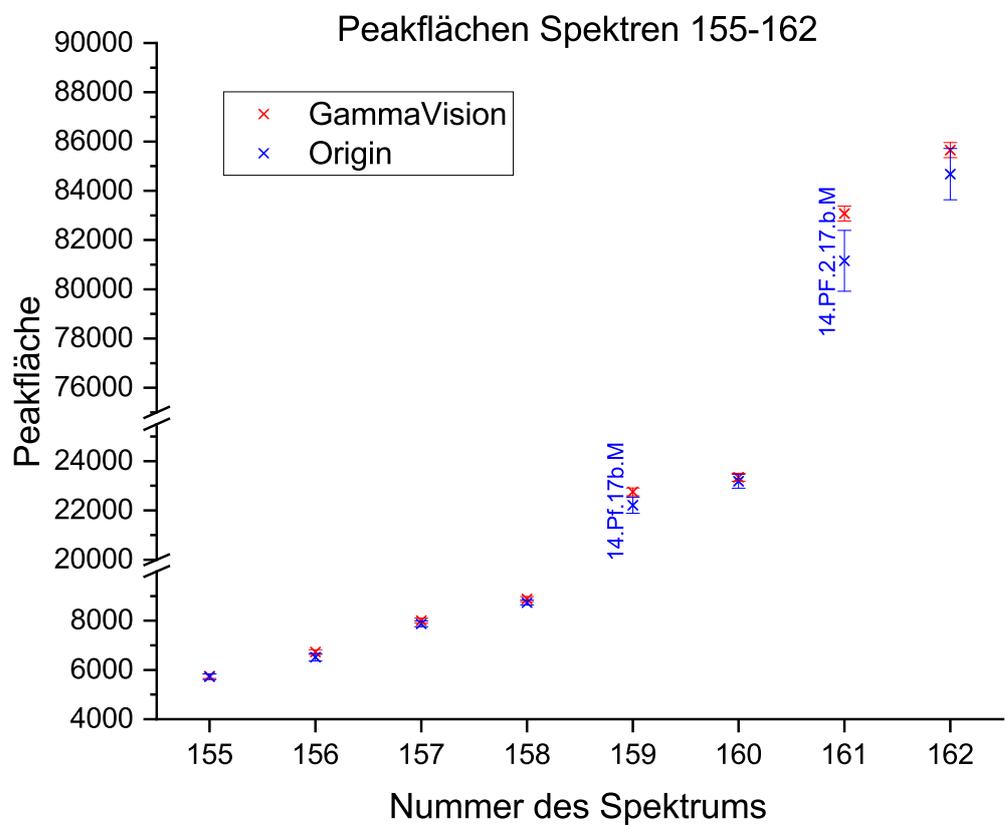


Abbildung 12: Peakflächen der Proben 155-162.

Es ist erkennbar, dass bei der Messung mit *GammaVision* die absoluten Fehler in etwa gleich bleiben, da *GammaVision* keine Funktion an die Messwerte anpasst, sondern lediglich eine lineare Anpassung an den Untergrund durchführt und für die Bruttofläche lediglich den Inhalt von Kanälen summiert. Dies führt dazu, dass die relativen Fehler bei geringen Aktivitäten groß und bei hohen Aktivitäten klein sind. *Origin* hat durch die Anpassung einer Funktion an die Messung auch einen statistischen Fehler. Dieser wächst mit der Fläche des Peaks an, wodurch er bei geringen Aktivitäten kleiner als bei *GammaVision* ist, und bei hohen Aktivitäten tendenziell größer. Ersichtlich wird dies in **Abbildung 13**.

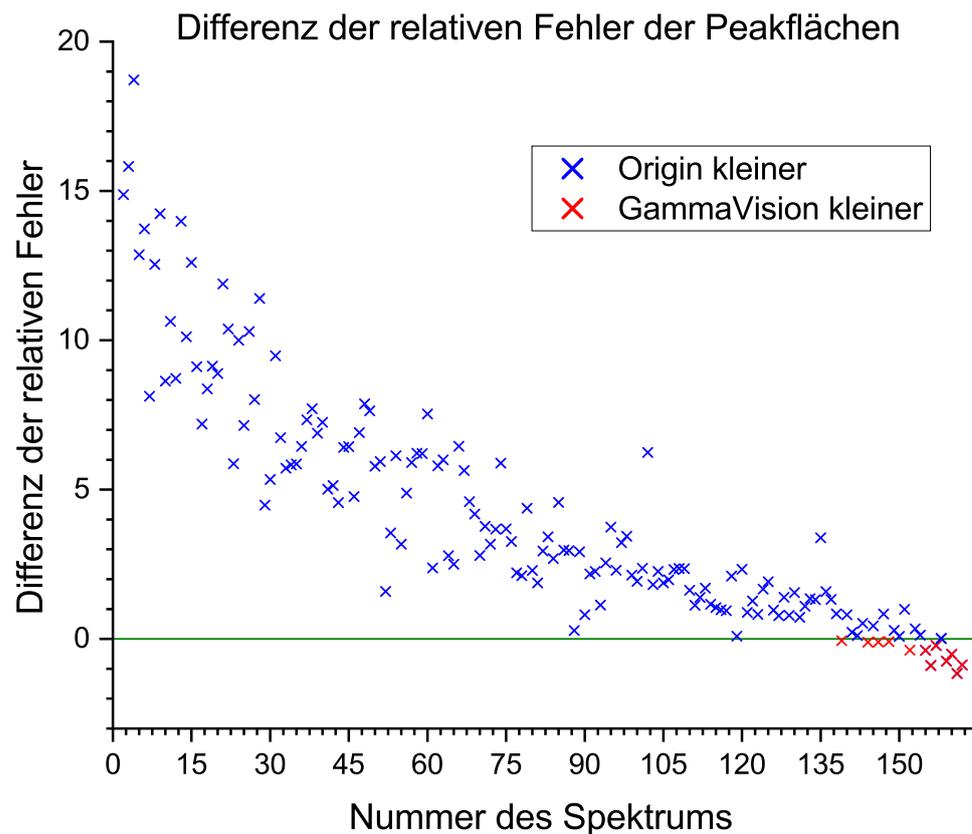


Abbildung 13: Differenz der relativen Fehler für die Peakflächen für mittlere Grenzen.

**Abbildung 12** macht deutlich, dass beim Spektrum *14.PF.2.17.b.M* der Fehlerbalken für den Wert aus *Origin* wesentlich größer ist als der Balken der Auswertung in *GammaVision*. **Abbildung 14** zeigt, dass dieser Fehlerbalken ein wenig reduziert werden kann, indem statt in mittleren in weiten Grenzen gefittet wird. Dadurch nähert sich  $y_0$ , also der Wert für die Höhe des Untergrunds, weiter der Kurve an, liegt aber noch immer über der Kurve. Dies liegt daran, dass besonders am Rand des Peaks bei höheren Energien nicht genügend Untergrund in den Grenzen enthalten ist. Deshalb verringert sich der relative Fehler nur von 1,52% auf 1,21% während er in *GammaVision* bei lediglich 0,36% liegt.

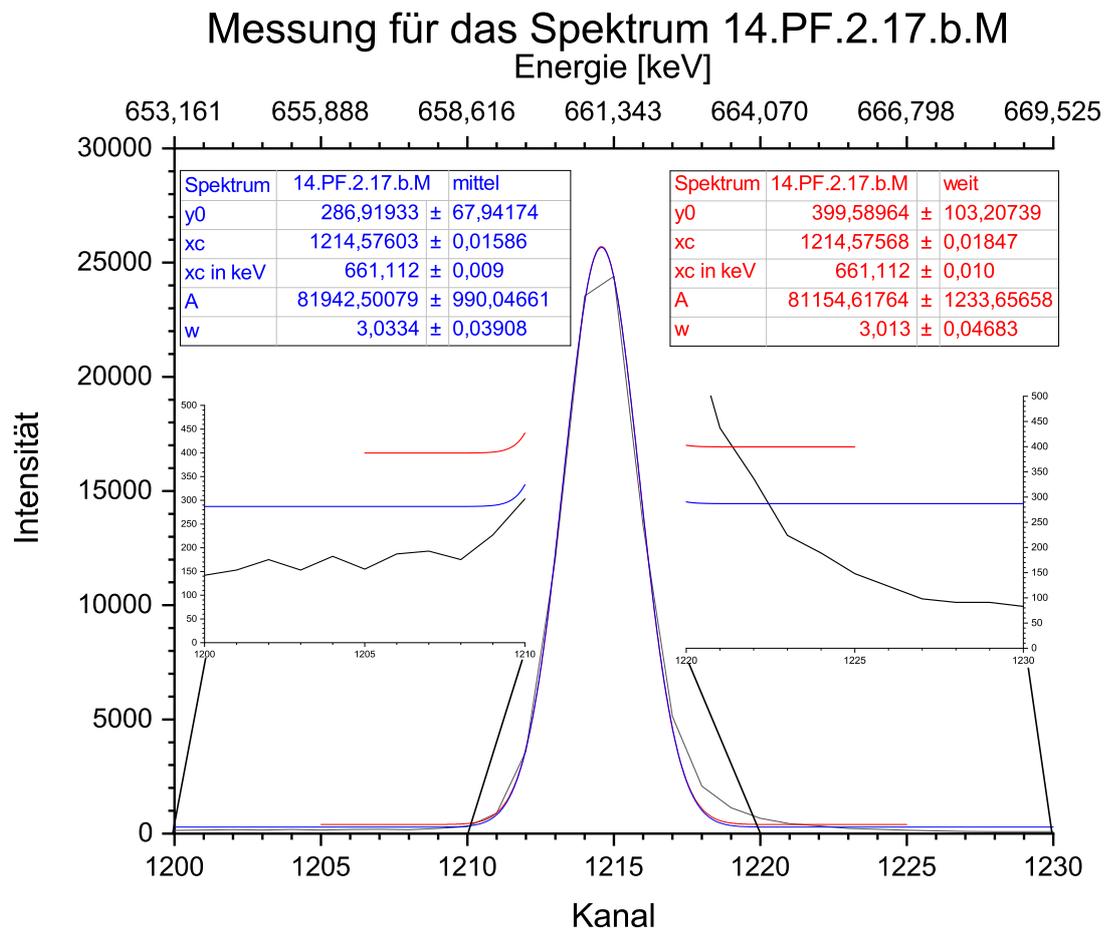


Abbildung 14: Messung des 661,66 keV Peaks im Spektrum *14.PF.2.17.b.M* mit Fit in mittleren und weiten Grenzen und Zoom auf die Kanäle 1200-1210 sowie 1220-1230.

Trägt man die Daten aus dem Fit mit weiten Grenzen in den Graphen in **Abbildung 12** ein, ist zu erkennen, dass diese näher an dem Wert aus *GammaVision* liegen und die Fehlergrenzen überlappen (vgl. **Abbildung 15**).

Um die Vergleichbarkeit der Auswertungen in *GammaVision* und *Origin* zu bemessen, wird der relative Flächenunterschied nach **Formel 6** über die Fläche des Peaks in *GammaVision* aufgetragen (**Abbildung 16**).

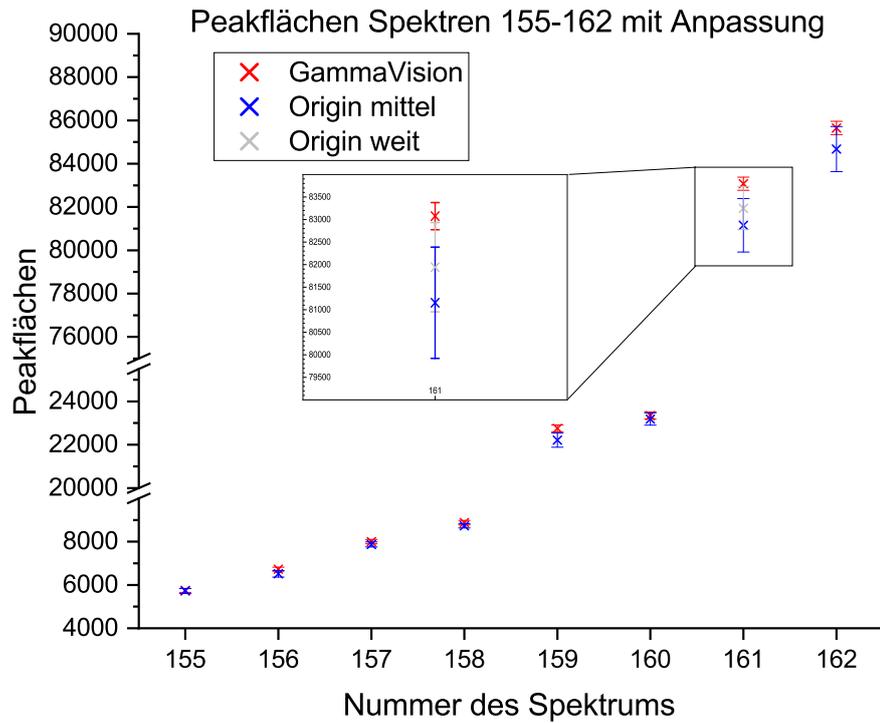


Abbildung 15: Peakflächen Teil 4 von 4 mit zusätzlichem Punkt und Zoom auf die Werte von Spektrum 14.PF.2.17.b.M.

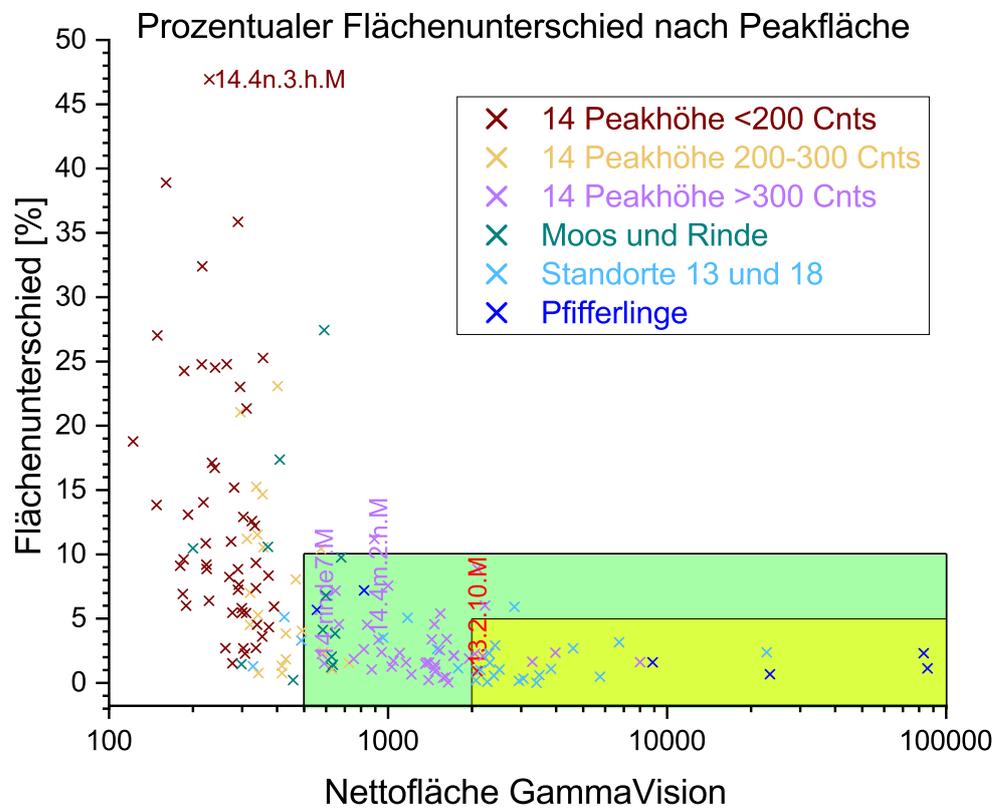


Abbildung 16: Nach Formel 6 berechneter prozentualer Flächenunterschied über Peakfläche in *GammaVision*. Farblich aufgeteilt in 7 Kategorien.

In **Abbildung 16** wird sichtbar, dass der Unterschied der Peakflächen zwischen *GammaVision* und *Origin* mit zunehmender Peakfläche abnimmt. Ab einer Fläche von etwa 500 Counts ist der Unterschied recht konsistent unter 10 % (grünes Areal) und ab etwa 2000 Counts sogar unter 5 % (gelbes Areal).

### 5.3 Zwischenbilanz

Es wurde gezeigt, dass die Ergebnisse aus beiden Programmen vergleichbar sind. Beide liefern bei hinreichender Größe des Peaks sehr ähnliche Werte. Durch seine Anpassung einer Funktion an den Peak ist *Origin* besonders bei geringen Aktivitäten genauer als *GammaVision*. **Abbildung 10** legt ebenso den Schluss nahe, dass auch bei höheren Aktivitäten *Origin* genauer ist oder zumindest sein kann. *Origin* bietet somit eine effektive Möglichkeit bei einer großen Anzahl an Spektren mit diskreten Peaks, bestimmte Peaks konsistent auszuwerten. Es hat sich gezeigt, dass eine mittlere Wahl der Grenzen die besten Resultate erbringt. Im Fall des untersuchten  $^{137}\text{Cs}$  Peaks und den Aktivitäten der analysierten Proben  $\pm 10$  Kanäle um den Mittelpunkt des Peaks.

### 5.4 Vergleich von Aktivitäten

Nachdem festgestellt wurde, mit welcher der getesteten Methoden die Fehler in der Auswertung minimiert werden können, soll im Folgenden zunächst ein Vergleich angestellt werden zwischen Proben desselben Baumes in unterschiedlichen Wuchshöhen. Ein Vergleich mit einem anderen Baum desselben Standortes ist leider nicht möglich, da der andere Baum, von dem Proben vorliegen, nicht genügend  $^{137}\text{Cs}$  enthält um einen Peak in den vorliegenden Spektren zu erzeugen. Für jede Höhe (alle 2 m bis 18 m) existieren mehrere Proben. Es wurde aus den Messwerten aller Proben einer Höhe der Mittelwert errechnet und in einem Graphen gegen die Höhe aufgetragen (**Abbildung 17**). Da die Messungen alle innerhalb eines Jahres aufgenommen wurden, ist bei einer Halbwertszeit von  $\sim 30$  Jahren der Zerfall während des Messzeitraums vernachlässigt worden.

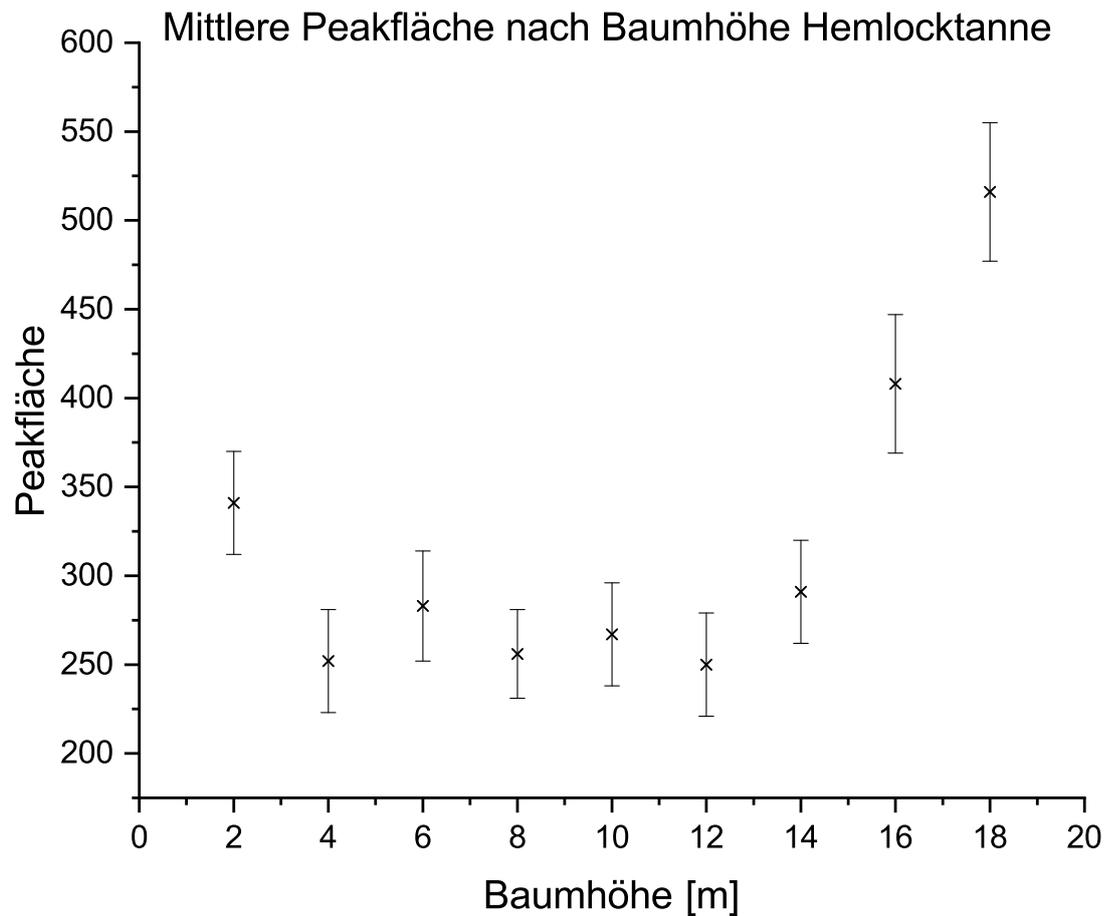


Abbildung 17: Peakfläche nach Baumhöhe für die Hemlocktanne aus Köln Dünwald.

In **Abbildung 17** wird sichtbar, dass die Aktivität in Bodennähe erhöht ist, von dort aus abnimmt und ab einer Höhe von etwa 12 m wieder zunimmt.

Im nächsten Schritt wurden sämtliche ermittelten Aktivitäten verglichen betrachtet. **Abbildung 18** zeigt, dass die mit Abstand höchsten Aktivitäten in Pfifferlingen gemessen wurden. Bei den Bodenproben hoher Aktivität (etwa ab Nummer 350) handelt es sich vornehmlich um Proben aus dem Rabland in Südtirol (*vgl. Abbildung 19*) die zum Teil aus großer Höhe stammen. Die Bodenproben aus dem Dünwalder Wald in Köln weisen eine tendenziell ähnliche Aktivität auf wie die Baumproben vom selben Standort. Bei Proben von Rinde und Moos kann eine Tendenz festgestellt werden, dass die Aktivität eher gering ist. Bei den Proben von Steinpilzen lässt sich kein eindeutiger Trend feststellen, nur dass die Proben niedrigster und zweithöchster Aktivität vom selben Standort kommen, demnach die Variation an einem Standort höher ist als zwischen den Standorten.

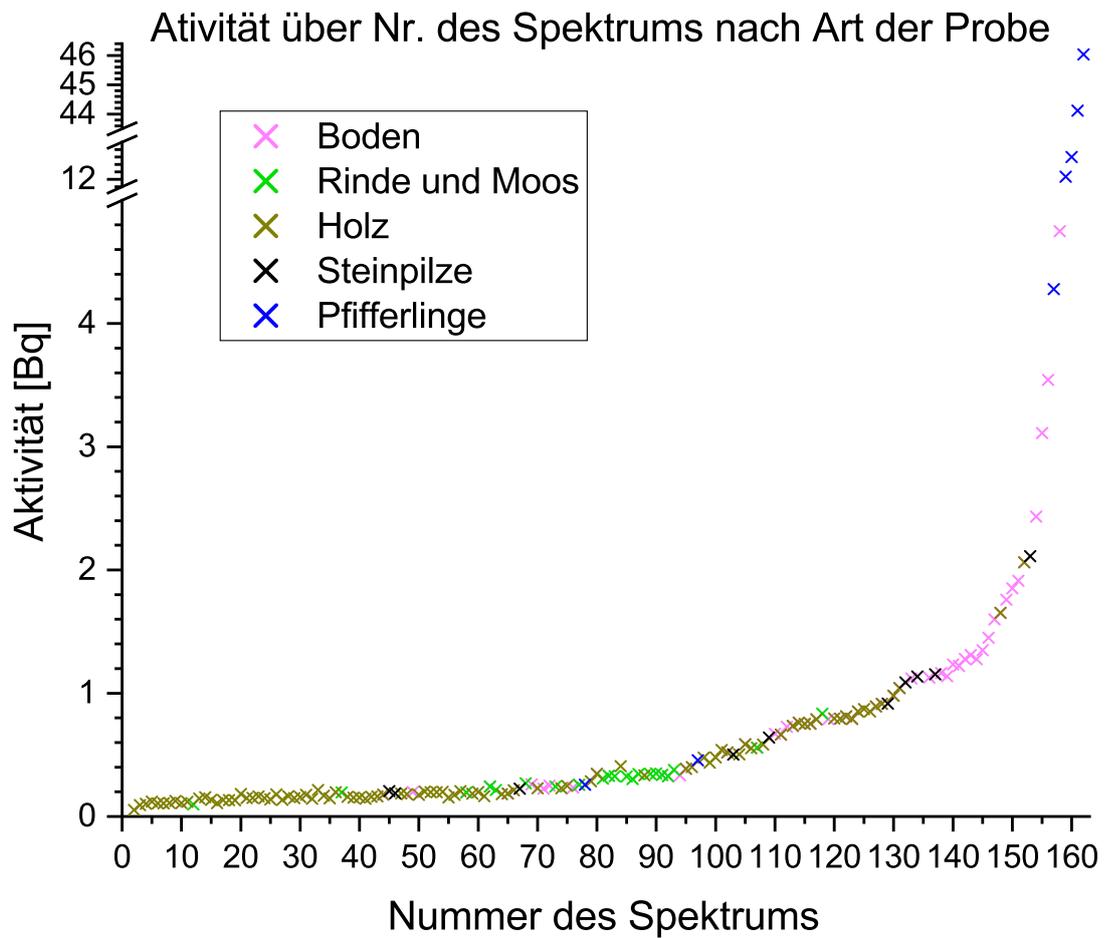


Abbildung 18: Alle Aktivitäten nach Nummer des Spektrums.

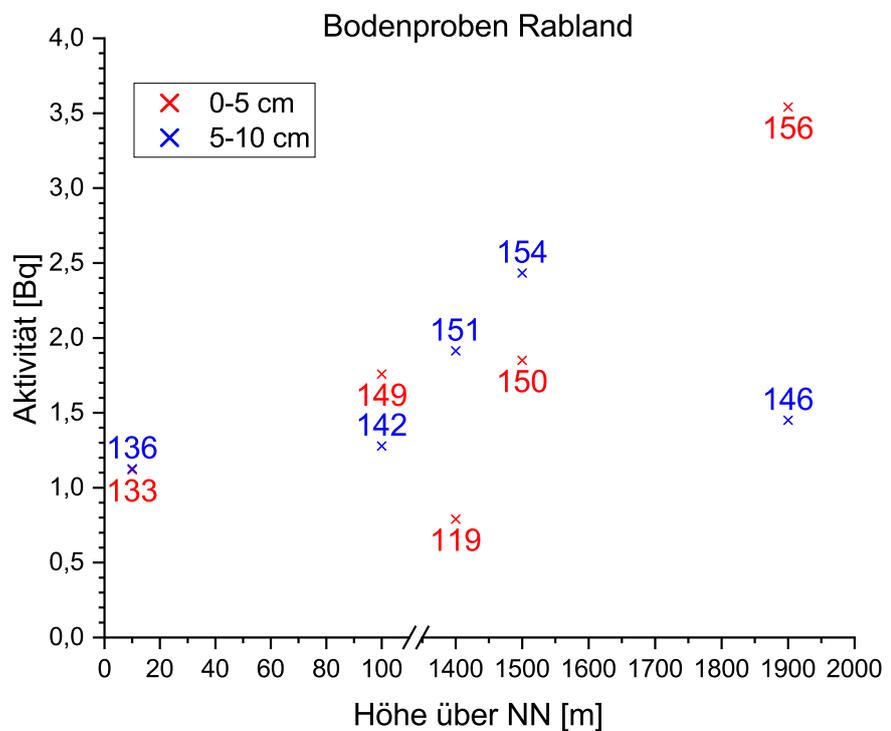


Abbildung 19: Ausgewählte Bodenproben aus dem Rabland in Südtirol nach Höhe über NN. Beschriftet mit den Nummern der Spektren

## 6 Abschlussdiskussion

### 6.1 Methodik der Auswertung

#### 6.1.1 Wahl der Grenzen

Es wurde gezeigt, dass für einen Fit in Origin der mittlere Anpassungsbereich von  $\pm 10$  Kanälen um den Mittelpunkt des Peaks zu den besten Resultaten bei kleinen und mittleren Peaks führt. Erst bei größeren Peaks wie z. B. bei Messungen von Pfifferlingen wird ein Bereich von  $\pm 15$  Kanälen zu ähnlich guten bis besseren Resultaten führen. Hauptgrund hierfür wird die erhöhte Peakbreite sein. In **Abbildung 20** sieht man, dass besonders die größeren Peaks bis fast an die Kanäle 1205 und 1225 reichen, somit liefert ein Fit über diese Grenzen nur sehr wenige Daten für eine passende Bestimmung des Untergrundes (*vgl. Spektren im Anhang*). Dies führt zu einer Verfälschung der Werte für die Nettofläche der Peaks.

#### 6.1.2 Auswertung in mittleren Grenzen

Die **Abbildungen 9-12** zeigen, dass bei den meisten Peaks die Resultate für beide Programme ähnlich sind. Für die extra in den Graphen benannten Abweichungen sind die Peaks in **Abbildung 20** aufgetragen, mit einer Linie, die zeigt wo der Scheitelpunkt des Peaks durchschnittlich liegt. Es wird ersichtlich, dass lediglich für die Messung *14.Hem7.M* der Scheitelpunkt mehr als einen Kanal vom Mittelwert abweicht. Demnach wird die Lage des Peaks eine eher untergeordnete Rolle beim auftreten dieser Abweichungen gespielt haben. Die wahrscheinlichste Quelle dieser Abweichung ist der Umstand, dass nach der Fläche in GammaVision sortiert wurde, wodurch jede Abweichung Origin zugeschrieben wird.

Aus **Abbildung 13** wird ersichtlich, dass bei größeren Werten der relative Fehler der Fläche des Peaks in Origin stärker anwächst als in GammaVision. Dies könnte daher kommen, dass bei Origin der Untergrund als Waagerechte angenommen wird, während bei GammaVision eine Gerade durch eine Anzahl Punkte im Untergrund gefittet wird. Bei kleinen Flächen tritt die daraus resultierende Ungewissheit nicht so stark zu Tage und Origin kann durch seinen genaueren Fit an den Peak insgesamt einen kleineren Fehler produzieren. Mit größeren Flächen tritt jedoch die Ungewissheit durch den als waagrecht angenommenen Untergrund in den Vordergrund und GammaVision wertet genauer aus. Außerdem wurde vorher gezeigt, dass bei größeren Flächen eine weitere Wahl der Grenzen des Fits der Genauigkeit von Origin zuträglich sind.

Aus **Abbildung 16** lässt sich ablesen, dass die Auswertungen mit GammaVision und Origin besonders bei höheren Aktivitäten sehr ähnliche Ergebnisse liefern.

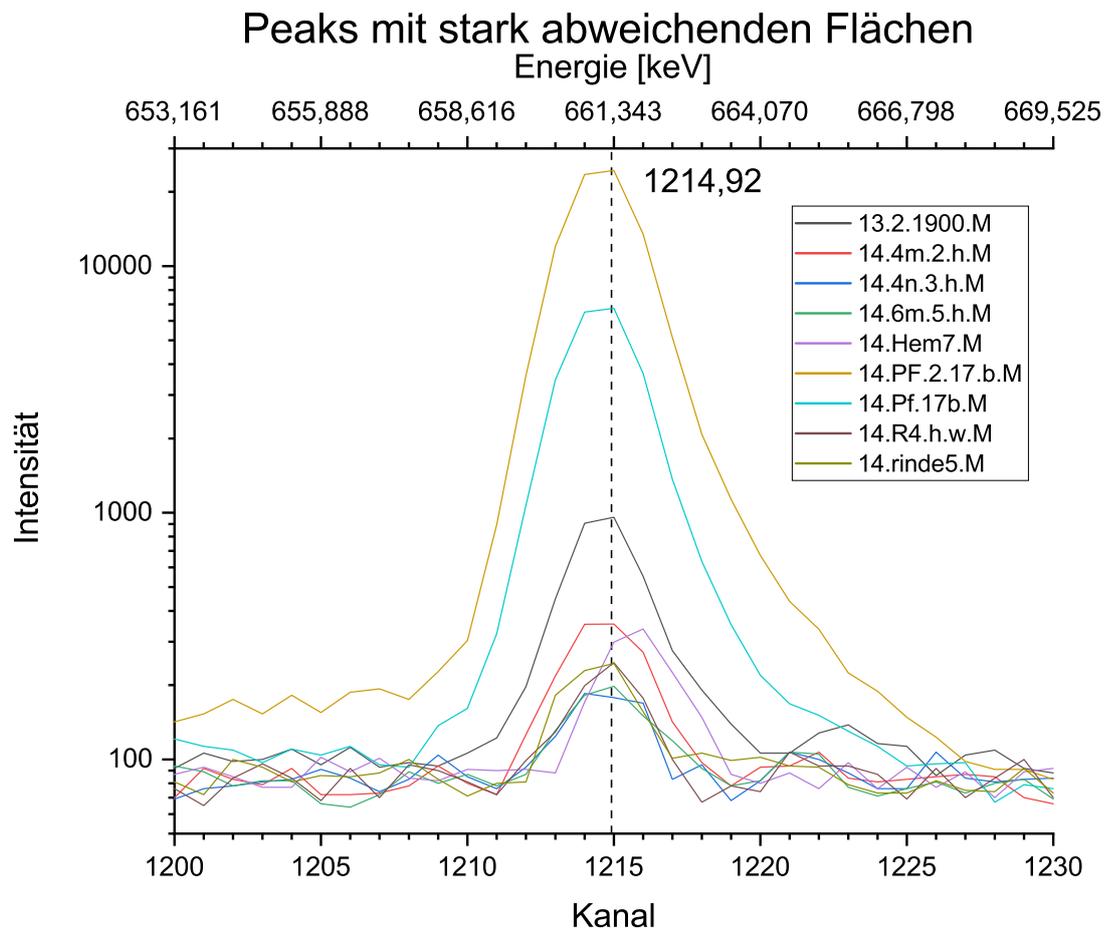


Abbildung 20: Spektren für die Peaks mit starken Abweichungen.

Besonders bei niedrigeren Aktivitäten ist Origin durch das Fitten einer Funktion an die Messwerte aber genauer. Diese Genauigkeit ließe sich noch erhöhen, indem man statt des vorgegebenen Fits *Gaussian* einen eigenen Fit erstellt, der den Untergrund besser darstellt und nicht als konstant annimmt. Dies ist die größte Fehlerquelle beim hier angewendeten Verfahren.

## 6.2 Aktivität der Proben

Darüber hinaus wurde im Fall der Hemlocktanne eine Ungleichverteilung der Aktivität über den Stamm hinweg festgestellt, mit Boden-nah sowie Kronen-nah erhöhten Werten. Dies entspricht anderweitig unternommenen Studien [9]. Das Ergebnis könnte mit der Natur des Baumes zusammenhängen. In Bodennähe ist die Belastung mit  $^{137}\text{Cs}$  vermutlich hoch, da der Boden generell stärker belastet ist als der Baum (Bodenproben in anderen Arbeiten legen dies nahe [6]) und somit in Boden- und Wurzelnähe die Belastung allgemein höher ist. Ein Grund für den Anstieg zur Krone hin könnte sein, dass unter 14 m Höhe vornehmlich glatter Stamm vorliegt, und somit verhältnismäßig wenig Wachstumsaktivität stattfindet im Vergleich zu größeren Höhen, wo mehr Äste mit lebenden Nadeln vom Stamm abgehen und daher das Cäsium in dieser Region konzentrierter auftritt.

Dies würde auch erklären, warum der Wert nach oben hin schnell und weit anwächst, da das Verhältnis von Grün zu Stamm nach oben hin immer weiter in Richtung Grün verschoben wird.

Beim abschließenden Vergleich aller Aktivitäten lässt sich feststellen, dass Pfifferlinge sehr hohe Aktivitäten aufweisen, also besonders gut  $^{137}\text{Cs}$  aufnehmen und akkumulieren, was die Befunde der vorherigen Arbeiten ([4][7]) untermauert. Des Weiteren ist die Aktivität der Proben aus dem Rabland im Allgemeinen höher als die der Proben aus Köln.

## Anhang

Tabelle 4: Teil 1 von 4 aller Messungen mit Angabe von Dateiname, Datum und Uhrzeit der Messung, Messzeit und Realzeit in Sekunden.

Nr.	Dateiname	Datum	Uhrzeit	Messzeit [s]	Realzeit [s]
167	14.Bu2M	01.12.2016	10:19:34	79200	79228
168	14.Bu3M	02.12.2016	09:10:24	79200	79228
174	14.Bu4M	04.12.2016	06:58:30	79200	79228
166	14.Bu21M	12.12.2016	10:36:55	360000	360130
170	14.BuAM	10.01.2017	08:10:52	79200	79229
172	14.BuIM	11.01.2017	15:03:44	79200	79228
13	14.Hem1.M	24.01.2017	11:28:35	79200	79228
85	14.Hem7.M	27.01.2017	10:04:42	79200	79228
99	14.Hem4.M	28.01.2017	09:14:05	79200	79228
104	14.Hem5.M	31.01.2017	15:12:07	79200	79228
98	14.Hem2.M	01.02.2017	06:59:43	79200	79229
126	14.Hem6.M	02.02.2017	11:26:05	79200	79230
96	14.Hem3.M	03.02.2017	09:17:53	79200	79228
125	14.Hem6aM	06.02.2017	13:07:15	79200	79229
51	14.Hem1a.M	07.02.2017	13:22:15	79200	79229
38	14.Hem3b.M	09.02.2017	10:14:29	79200	79229
17	14.Hem2b.M	16.02.2017	09:00:36	79200	79228
55	14.Hem1b.M	17.02.2017	15:12:04	79200	79228
8	14.Hem4b.M	21.02.2017	09:51:39	79200	79229
31	14.Hem5b.M	28.02.2017	08:45:27	79200	79229
21	14.Hem5bx.M	01.03.2017	08:33:33	79200	79229
131	14.1b.M	02.03.2017	10:35:54	79200	79232
124	14.1L.M	03.03.2017	12:05:36	79200	79230
95	14.2b.M	06.03.2017	08:23:42	79200	79232
108	14.Hem2L.M	07.03.2017	10:22:37	79200	79231
44	14.11.h.M	10.03.2017	09:00:08	79200	79229
115	14.12.h.M	13.03.2017	08:26:34	79200	79231
102	14.21.h.M	14.03.2017	08:59:34	79200	79229
105	14.22.h.M	15.03.2017	12:26:12	79200	79231
80	14.31.h.M	16.03.2017	08:33:17	79200	79229
111	14.32.h.M	17.03.2017	09:57:05	79200	79235
65	14.41.h.M	20.03.2017	10:45:40	79200	79239
148	14.42.h.M	21.03.2017	09:33:59	79200	79242
175	14.51.h.M	22.03.2017	09:28:30	79200	79239
152	14.52.h.M	23.03.2017	16:23:48	79200	79241
127	14.11.b.M	24.03.2017	15:05:19	79200	79246
130	14.12.b.M	27.03.2017	13:17:51	79200	79232
122	14.21.b.M	28.03.2017	13:15:39	79200	79232
113	14.22.b.M	29.03.2017	11:16:59	79200	79232
128	14.31.b.M	30.03.2017	08:13:40	79200	79232
121	14.32.b.M	31.03.2017	16:43:13	79200	79232
123	14.41.b.M	03.04.2017	07:59:22	79200	79231

Tabelle 5: Teil 2 von 4 aller Messungen.

Nr.	Dateiname	Datum	Uhrzeit	Messzeit [s]	Realzeit [s]
117	14.42.b.M	04.04.2017	08:50:28	79200	79232
114	14.51.b.M	05.04.2017	08:52:15	79200	79232
116	14.52.b.M	06.04.2017	10:03:31	79200	79233
118	14.mix.b.M	07.04.2017	09:29:38	79200	79231
173	14.bl.b.M	10.04.2017	10:09:14	79200	79229
165	14.tn.h.M	11.04.2017	09:48:57	79200	79229
94	14.x1.h.M	12.04.2017	08:54:59	79200	79229
112	14.x2.h.M	13.04.2017	14:01:09	79200	79231
69	14.y3.h.M	14.04.2017	11:51:11	79200	79231
110	14.y1.h.M	17.04.2017	08:40:36	79200	79230
72	14.y2.h.M	17.04.2017	10:31:54	77095	77126
138	14.z1.h.M	19.04.2017	10:46:57	79200	79229
145	14.z2.h.M	20.04.2017	12:57:44	79200	79231
12	14.moos.h.M	21.04.2017	12:01:38	79200	79228
35	14.12m.2.h.M	24.04.2017	13:42:27	79200	79228
34	14.8m.3.h.M	25.04.2017	08:46:33	79200	79228
75	14.16m.2.h.M	26.04.2017	09:14:19	79200	79229
52	14.16m.1.h.M	27.04.2017	08:00:06	79200	79229
10	14.12m.1.h.M	28.04.2017	09:12:29	79200	79228
16	14.4n.1.h.M	02.05.2017	07:55:46	79200	79228
39	14.8n.1.h.M	03.05.2017	09:06:33	79200	79229
24	14.4n.2.h.M	04.05.2017	08:44:04	79200	79229
22	14.8n.2.h.M	05.05.2017	09:51:57	79200	79229
14	14.12m.3.h.M	08.05.2017	08:47:41	79200	79229
19	14.12m.4.h.M	09.05.2017	08:41:18	79200	79229
20	14.4n.3.h.M	10.05.2017	08:31:21	79200	79228
9	14.4n.4.h.M	11.05.2017	09:49:28	79200	79229
5	14.4n.5.h.M	12.05.2017	08:48:17	79200	79228
26	14.8n.3.h.M	15.05.2017	08:45:31	79200	79229
29	14.8n.4.h.M	16.05.2017	09:04:14	79200	79229
2	14.8n.5.h.M	17.05.2017	09:47:31	79200	79229
79	14.4m.1.h.M	18.05.2017	09:47:13	79200	79229
101	14.4m.2.h.M	20.05.2017	10:05:49	79200	79229
106	14.4m.3.h.M	22.05.2017	08:45:27	79200	79229
100	14.4m.4.h.M	23.05.2017	09:54:52	79200	79229
56	14.4m.5.h.M	24.05.2017	08:43:37	79200	79229
43	14.12n.1.h.M	26.05.2017	09:58:48	79200	79228
28	14.12n.2.h.M	29.05.2017	11:03:47	79200	79228
36	14.12n.3.h.M	30.05.2017	08:41:01	79200	79229
60	14.12n.4.h.M	31.05.2017	09:56:54	79200	79229
48	14.12n.51.h.M	01.06.2017	08:46:08	79200	79228
57	14.12n.52.h.M	02.06.2017	08:15:59	79200	79228
54	14.12n.53.h.M	06.06.2017	08:29:35	75396	75423
135	14.8mx.4.h.M	09.06.2017	08:22:12	792000	792288

Tabelle 6: Teil 3 von 4 aller Messungen.

Nr.	Dateiname	Datum	Uhrzeit	Messzeit [s]	Realzeit [s]
119	14.20m.1.h.M	19.06.2017	11:16:07	79200	79229
141	13.2a.1400.M	20.06.2017	08:20:00	79200	79230
88	14.18m.1.h.M	21.06.2017	08:16:46	79200	79229
73	14.18m.2.h.M	22.06.2017	08:54:40	79200	79229
27	14.14m.1.h.M	23.06.2017	09:22:37	79200	79229
4	14.2m.1.h.M	26.06.2017	10:26:06	79200	79228
53	14.2m.2.h.M	27.06.2017	12:03:48	79200	79229
70	14.2m.3.h.M	28.06.2017	08:26:02	79200	79229
66	14.2m.4.h.M	29.06.2017	08:25:18	79200	79228
47	14.2m.5.h.M	30.06.2017	08:37:00	79200	79229
64	14.14m.2.h.M	03.07.2017	08:49:57	79200	79228
33	14.14m.3.h.M	04.07.2017	09:19:39	79200	79229
107	14.10m.r.h.M	06.07.2017	10:05:06	79200	79229
143	13.1a.1400.M	07.07.2017	08:57:55	79200	79230
91	14.10m.r2.h.M	10.07.2017	10:20:44	79200	79228
92	14.10m.r3.h.M	12.07.2017	11:07:55	79200	79229
50	14.10m.1.h.M	13.07.2017	13:17:39	79200	79229
25	14.10m.2.h.M	14.07.2017	09:31:34	79200	79228
30	14.10m.4.h.M	17.07.2017	12:57:32	79200	79228
11	14.10m.4a.h.M	18.07.2017	08:39:27	79200	79233
23	14.6m.1.h.M	24.07.2017	09:22:05	79200	79240
40	14.6m.2.h.M	25.07.2017	10:34:29	79200	79239
18	14.6m.3.h.M	26.07.2017	08:50:52	79200	79240
6	14.6m.4.h.M	27.07.2017	09:13:21	79200	79239
32	14.6m.5.h.M	28.07.2017	09:34:03	79200	79239
61	14.6m.5o.h.M	31.07.2017	10:24:04	79200	79240
3	14.6m.1o.h.M	01.08.2017	08:41:50	79200	79237
158	18.2.M	03.08.2017	08:38:33	79200	79231
147	18.1.M	04.08.2017	11:53:02	79200	79229
42	14.14n.1.h.M	08.08.2017	10:11:51	79200	79229
15	14.14n.3.h.M	10.08.2017	11:50:13	79200	79229
59	14.14n.2.h.M	11.08.2017	09:20:06	79200	79229
149	13.1.100.M	29.08.2017	09:39:38	79200	79232
142	13.2.100.M	30.08.2017	13:54:36	79200	79234
157	13.Pf.17	31.08.2017	08:56:58	79200	79230
109	13.St.h.17	01.09.2017	15:26:40	79200	79228
153	13.St.r.17.M	02.09.2017	10:48:23	79200	79229
129	13.St.s.17.M	04.09.2017	12:48:51	79200	79229
103	13.St.h2.17.M	05.09.2017	11:41:30	79200	79229
132	13.St.r2.17.M	06.09.2017	09:42:56	79200	79230
97	13.Pf.III.17.M	07.09.2017	11:40:32	79200	79230
76	13.LR.a.17.M	08.09.2017	09:40:14	79200	79229
71	13.LR.b.17.M	11.09.2017	12:44:09	79200	79229
46	14.St.17.M	13.09.2017	13:26:01	79200	79229

Tabelle 7: Teil 4 von 4 aller Messungen.

Nr.	Dateiname	Datum	Uhrzeit	Messzeit [s]	Realzeit [s]
160	14.Pf.17.M	14.09.2017	13:09:11	79200	79234
162	14.Pf.2.17.M	15.09.2017	09:28:34	79200	79246
137	14.St.2.17.M	16.09.2017	10:46:13	79200	79229
120	13.1.1400.M	18.09.2017	13:36:22	79200	79232
151	13.2.1400.M	19.09.2017	15:12:30	77922	77951
133	13.1.10.M	20.09.2017	13:29:40	79200	79233
136	13.2.10.M	21.09.2017	09:25:58	79200	79234
67	14.St.17.a.M	22.09.2017	09:03:58	79200	79228
169	13.11.L.M	26.09.2017	10:17:20	79200	79228
1	13.12.L.M	27.09.2017	09:44:15	79200	79228
171	13.13.L.M	28.09.2017	08:39:41	79200	79228
49	13.14.L.M	29.09.2017	09:34:31	79200	79227
77	14.R5.h.M	02.10.2017	11:07:53	79200	79231
58	14.R4.h.M	04.10.2017	09:55:32	79200	79231
62	14.R4.h.w.M	05.10.2017	09:44:39	79200	79231
82	14.R3	06.10.2017	10:18:09	79200	79231
164	8.b.1.M	09.10.2017	14:36:43	79200	79231
163	8.b.2.M	11.10.2017	12:52:11	79200	79240
41	14.6m.1.a.h.M	12.10.2017	09:57:36	79200	79240
7	14.6m.2a.h.M	16.10.2017	11:50:41	79200	79241
78	17.Pf.17.M	18.10.2017	12:48:49	79200	79241
146	13.2.1900.M	20.11.2017	12:36:00	79200	79242
156	13.1.1900.M	22.11.2017	12:04:26	79200	79239
155	13.1.M	27.11.2017	10:11:03	79200	79243
140	13.2.M	28.11.2017	16:00:54	79200	79244
139	13.1a2.1400.M	29.11.2017	09:40:16	79200	79238
144	13.2a2.1400.M	30.11.2017	09:00:22	79200	79241
150	13.1.1500.O.M	07.12.2017	14:53:58	79200	79235
154	13.2.1500.O.M	08.12.2017	15:30:53	79200	79238
90	14.rinde1.M	13.12.2017	11:04:50	79200	79237
74	14.rinde2.M	14.12.2017	11:00:35	79200	79237
81	14.rinde3.M	21.12.2017	10:08:23	79200	79239
89	14.rinde4.M	22.12.2017	10:31:13	79200	79240
68	14.rinde5.M	25.12.2017	08:55:06	79200	79239
83	14.rinde6.M	27.12.2017	09:25:11	79200	79239
84	14.rinde7.M	28.12.2017	08:46:00	79200	79239
93	14.rinde8.M	29.12.2017	12:49:55	79200	79238
86	14.rinde9.M	30.12.2017	12:49:55	79200	79238
87	14.rinde10.M	02.01.2018	09:28:40	79200	79239
63	14.rinde11.M	03.01.2018	10:02:00	79200	79236
37	14.rinde12.M	04.01.2018	09:22:22	79200	79239
45	14.St.17.b.M	12.01.2018	11:51:11	79200	79238
134	14.St.2.b.17.M	17.01.2018	17:34:38	79200	79237
159	14.Pf.17b.M	18.01.2018	10:56:16	79200	79242
161	14.PF.2.17.b.M	22.01.2018	11:00:05	79200	79254

Tabelle 8: Ergebnisse von Messungen, die keinen erkennbaren Peak bei 661,66 keV hatten, daher nur Origin Auswertung in mittleren Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage O [keV]	Fläche O	Messzeit [s]
163	8.b.2.M	1,787E+15 ± 0,000	-9E+16 ± 0	79200
164	8.b.1.M	660,232 ± 1,241	198 ± 451	79200
165	14.tn.h.M	662,879 ± 2,832	193 ± 1557	79200
166	14.Bu21M	657,680 ± 0,143	-139 ± 49	360000
167	14.Bu2M	661,555 ± 5909,255	52 ± 8E+06	79200
168	14.Bu3M	658,370 ± 333,512	44 ± 634676	79200
169	13.11.L.M	661,056 ± 0,182	119 ± 33	79200
170	14.BuAM	661,028 ± 0,344	32 ± 22	79200
171	13.13.L.M	662,299 ± 0,795	220 ± 227	79200
172	14.BuIM	660,421 ± 0,716	40 ± 33	79200
173	14.bl.b.M	657,594 ± 0,548	-56 ± 34	79200
174	14.Bu4M	663,908 ± 2756,045	-21 ± 689745	79200
175	14.51.h.M	661,620 ± 53,046	117 ± 2E+06	79200

Tabelle 9: Ergebnisse von Messungen, die keinen erkennbaren Peak bei 661,66 keV hatten, daher nur Origin Auswertung in engen Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage O [keV]	Fläche O	rel. Fehler O [%]
163	8.b.2.M	661,371 ± 0,286	39719 ± 6E+06	14531,46
164	8.b.1.M	663,464 ± 0,511	-54 ± 47	-86,39
165	14.tn.h.M	661,384 ± 0,137	77 ± 23	30,25
166	14.Bu21M	659,568 ± 0,268	-185 ± 78	-42,10
167	14.Bu2M	661,565 ± 2928,550	61 ± 5E+06	8,53E+06
168	14.Bu3M	662,436 ± 0,315	-80 ± 44	-55,12
169	13.11.L.M	661,027 ± 0,186	134 ± 50	37,06
170	14.BuAM	661,100 ± 0,384	40267 ± 7E+06	16587,33
171	13.13.L.M	662,297 ± 1,005	104762 ± 3E+07	26311,44
172	14.BuIM	659,822 ± 2,191	448 ± 6484	1446,79
173	14.bl.b.M	660,590 ± 0,237	44 ± 23	52,82
174	14.Bu4M	661,550 ± 3399,256	28 ± 2E+06	7,19E+06
175	14.51.h.M	661,620 ± 36,069	118 ± 1E+06	1,06E+06

Tabelle 10: Ergebnisse Teil 1 von 7 für enge Grenzen. Fortlaufende Nummer des Spektrums, Name des Spektrums, Lage des Peaks, Fläche des Peaks, relative Fehler der Flächen, absolute Differenz der Flächen und relative Differenz der Flächen. GV=aus GammaVision, O=aus Origin

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	rel. Fehler GV [%]	rel. Fehler O [%]	Flächen Diff abs	Flächen Diff rel [%]
1	13.12.L.M	661,23	661,290 ± 0,048	68 ± 43	134 ± 14	63,24	10,07	66	97,25
2	14.8n.5.h.M	660,17	660,736 ± 0,079	122 ± 45	79 ± 15	36,89	19,66	43	35,60
3	14.6m.1o.h.M	661,07	661,082 ± 0,074	148 ± 45	184 ± 29	30,41	15,56	36	24,34
4	14.2m.1.h.M	661,18	661,120 ± 0,079	149 ± 46	177 ± 31	30,87	17,49	28	18,58
5	14.4n.5.h.M	660,99	660,968 ± 0,104	160 ± 45	214 ± 44	28,13	20,75	54	33,86
6	14.6m.4.h.M	661,03	661,087 ± 0,075	180 ± 46	194 ± 30	25,56	15,55	14	7,55
7	14.6m.2a.h.M	661,12	661,166 ± 0,035	184 ± 46	164 ± 14	25,00	8,26	20	10,83
8	14.Hem4b.M	661,71	661,686 ± 0,058	185 ± 46	205 ± 30	24,86	14,83	20	11,05
9	14.4n.4.h.M	661,13	661,120 ± 0,044	186 ± 46	236 ± 22	24,73	9,41	50	26,98
10	14.12m.1.h.M	661,11	661,134 ± 0,095	189 ± 45	247 ± 47	23,81	18,87	58	30,91
11	14.10m.4a.h.M	661,09	661,119 ± 0,103	192 ± 47	202 ± 42	24,48	20,75	10	5,25
12	14.moos.h.M	661,25	661,325 ± 0,086	200 ± 45	172 ± 32	22,50	18,54	28	14,04
13	14.Hem1.M	662,07	661,896 ± 0,057	215 ± 47	261 ± 33	21,86	12,79	46	21,17
14	14.12m.3.h.M	661,14	661,204 ± 0,070	216 ± 46	290 ± 42	21,30	14,46	74	34,29
15	14.14n.3.h.M	661,19	661,149 ± 0,031	218 ± 47	244 ± 17	21,56	7,10	26	12,00
16	14.4n.1.h.M	661,44	661,331 ± 0,038	222 ± 44	191 ± 16	19,82	8,50	31	13,91
17	14.Hem2b.M	661,91	661,811 ± 0,080	223 ± 47	275 ± 45	21,08	16,22	52	23,23
18	14.6m.3.h.M	661,04	661,169 ± 0,068	224 ± 46	264 ± 38	20,54	14,34	40	18,03

Tabelle 11: Ergebnisse Teil 2 von 7 für enge Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	rel. Fehler GV [%]	rel. Fehler O [%]	Flächen Diff abs	Flächen Diff rel [%]
19	14.12m.4.h.M	661,09	661,093 ± 0,067	228 ± 46	253 ± 35	20,18	13,76	25	10,81
20	14.4n.3.h.M	661,09	661,191 ± 0,080	229 ± 48	381 ± 61	20,96	15,93	152	66,47
21	14.Hem5bx.M	661,80	661,784 ± 0,049	234 ± 46	285 ± 31	19,66	10,76	51	21,80
22	14.8n.2.h.M	661,53	661,280 ± 0,076	239 ± 46	275 ± 44	19,25	16,06	36	14,89
23	14.6m.1.h.M	661,14	661,071 ± 0,081	240 ± 46	331 ± 53	19,17	16,04	91	37,74
24	14.4n.2.h.M	661,20	661,241 ± 0,042	243 ± 46	275 ± 24	18,93	8,61	32	13,36
25	14.10m.2.h.M	661,10	661,090 ± 0,048	261 ± 45	261 ± 26	17,24	9,80	0	0,17
26	14.8n.3.h.M	661,07	661,079 ± 0,047	264 ± 46	353 ± 34	17,42	9,53	89	33,84
27	14.14m.1.h.M	661,18	661,199 ± 0,043	270 ± 45	227 ± 22	16,67	9,60	43	15,84
28	14.12n.2.h.M	661,01	661,045 ± 0,027	274 ± 47	302 ± 17	17,15	5,75	28	10,39
29	14.8n.4.h.M	661,19	661,193 ± 0,063	277 ± 45	278 ± 35	16,25	12,76	1	0,18
30	14.10m.4.h.M	661,17	661,223 ± 0,067	277 ± 46	271 ± 39	16,61	14,29	6	2,01
31	14.Hem5b.M	661,88	661,902 ± 0,040	281 ± 46	320 ± 25	16,37	7,98	39	13,73
32	14.6m.5.h.M	661,20	661,220 ± 0,038	290 ± 48	392 ± 29	16,55	7,50	102	35,12
33	14.14m.3.h.M	661,15	661,175 ± 0,075	290 ± 46	304 ± 47	15,86	15,56	14	4,93
34	14.8m.3.h.M	661,21	661,211 ± 0,064	290 ± 46	242 ± 35	15,86	14,44	48	16,59
35	14.12m.2.h.M	661,14	661,217 ± 0,071	292 ± 45	241 ± 36	15,41	14,90	51	17,47
36	14.12n.3.h.M	661,06	661,078 ± 0,060	295 ± 47	364 ± 46	15,93	12,55	69	23,30
37	14.rinde12.M	661,05	661,009 ± 0,061	296 ± 49	376 ± 46	16,55	12,35	80	27,04
38	14.Hem3b.M	661,73	661,758 ± 0,048	298 ± 47	302 ± 30	15,77	9,87	4	1,38
39	14.8n.1.h.M	661,20	661,284 ± 0,035	299 ± 45	287 ± 21	15,05	7,38	12	4,04
40	14.6m.2.h.M	661,07	661,007 ± 0,031	300 ± 46	323 ± 20	15,33	6,13	23	7,81
41	14.6m.1.a.h.M	661,16	661,187 ± 0,039	303 ± 47	398 ± 32	15,51	8,03	95	31,38
42	14.14n.1.h.M	661,03	661,119 ± 0,052	303 ± 46	238 ± 28	15,18	11,59	65	21,31

Tabelle 12: Ergebnisse Teil 3 von 7 für enge Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	rel. Fehler GV [%]	rel. Fehler O [%]	Flächen Diff abs	Flächen Diff rel [%]
43	14.12n.1.h.M	661,19	661,278 ± 0,066	307 ± 45	299 ± 42	14,66	13,96	8	2,74
44	14.11.h.M	661,89	661,903 ± 0,064	310 ± 46	338 ± 44	14,84	13,06	28	8,88
45	14.St.17.b.M	661,11	661,154 ± 0,050	311 ± 49	379 ± 38	15,76	9,97	68	21,78
46	14.St.17.M	660,97	660,976 ± 0,091	312 ± 48	349 ± 63	15,38	18,15	37	11,90
47	14.2m.5.h.M	661,22	661,256 ± 0,043	320 ± 47	322 ± 28	14,69	8,80	2	0,64
48	14.12n.51.h.M	661,09	661,071 ± 0,052	320 ± 46	362 ± 38	14,38	10,45	42	13,21
49	13.14.L.M	661,17	661,149 ± 0,029	325 ± 47	366 ± 22	14,46	5,98	41	12,51
50	14.10m.1.h.M	661,06	661,140 ± 0,069	328 ± 46	325 ± 45	14,02	13,78	3	0,94
51	14.Hem1a.M	661,85	661,848 ± 0,043	333 ± 48	440 ± 37	14,41	8,44	107	32,07
52	14.16m.1.h.M	660,86	661,208 ± 0,092	336 ± 49	369 ± 68	14,58	18,44	33	9,92
53	14.2m.2.h.M	661,23	661,248 ± 0,060	336 ± 46	398 ± 47	13,69	11,93	62	18,46
54	14.12n.53.h.M	661,15	661,148 ± 0,032	336 ± 45	344 ± 22	13,39	6,36	8	2,41
55	14.Hem1b.M	661,82	661,805 ± 0,057	337 ± 45	240 ± 29	13,35	12,14	97	28,86
56	14.4m.5.h.M	661,16	661,180 ± 0,048	339 ± 47	288 ± 32	13,86	11,04	51	15,16
57	14.12n.52.h.M	661,07	661,077 ± 0,036	340 ± 48	365 ± 28	14,12	7,56	25	7,34
58	14.R4.h.M	661,28	661,182 ± 0,042	342 ± 47	327 ± 28	13,74	8,52	15	4,31
59	14.14n.2.h.M	661,03	661,007 ± 0,059	343 ± 47	350 ± 43	13,70	12,26	7	2,09
60	14.12n.4.h.M	661,22	661,265 ± 0,019	354 ± 46	396 ± 16	12,99	3,96	42	11,74
61	14.6m.5o.h.M	661,01	660,996 ± 0,080	355 ± 46	272 ± 43	12,96	15,83	83	23,43
62	14.R4.h.w.M	661,18	661,244 ± 0,033	356 ± 48	489 ± 33	13,48	6,77	133	37,37
63	14.rinde11.M	661,08	661,100 ± 0,055	357 ± 49	361 ± 42	13,73	11,71	4	1,02
64	14.14m.2.h.M	661,38	661,270 ± 0,074	371 ± 46	315 ± 46	12,40	14,71	56	15,12
65	14.41.h.M	661,74	661,801 ± 0,080	373 ± 47	342 ± 56	12,60	16,23	31	8,21
66	14.2m.4.h.M	661,04	661,066 ± 0,041	374 ± 46	379 ± 32	12,30	8,42	5	1,38

Tabelle 13: Ergebnisse Teil 4 von 7 für enge Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	rel. Fehler GV [%]	rel. Fehler O [%]	Flächen Diff abs	Flächen Diff rel [%]
67	14.St.17.a.M	661,06	661,097 ± 0,054	390 ± 48	419 ± 47	12,31	11,18	29	7,54
68	14.rinde5.M	661,10	661,059 ± 0,066	402 ± 50	485 ± 66	12,44	13,55	83	20,62
69	14.y3.h.M	661,41	661,387 ± 0,050	409 ± 51	493 ± 49	12,47	9,90	84	20,46
70	14.2m.3.h.M	661,15	661,123 ± 0,058	416 ± 47	446 ± 52	11,30	11,55	30	7,32
71	13.LR.b.17.M	660,99	661,029 ± 0,051	417 ± 49	400 ± 44	11,75	11,04	17	4,11
72	14.y2.h.M	661,26	661,253 ± 0,038	425 ± 50	430 ± 33	11,76	7,65	5	1,18
73	14.18m.2.h.M	661,25	661,186 ± 0,035	430 ± 48	373 ± 28	11,16	7,38	57	13,26
74	14.rinde2.M	661,11	661,079 ± 0,043	430 ± 49	469 ± 41	11,40	8,71	39	9,03
75	14.16m.2.h.M	661,16	661,201 ± 0,039	457 ± 48	429 ± 34	10,50	7,89	28	6,08
76	13.LR.a.17.M	660,95	661,058 ± 0,057	467 ± 48	426 ± 49	10,28	11,50	41	8,73
77	14.R5.h.M	661,09	661,068 ± 0,042	489 ± 48	457 ± 40	9,82	8,78	32	6,58
78	17.Pf.17.M	661,23	661,211 ± 0,040	492 ± 49	422 ± 36	9,96	8,47	70	14,21
79	14.4m.1.h.M	661,11	661,114 ± 0,026	556 ± 48	524 ± 28	8,63	5,32	32	5,84
80	14.31.h.M	661,78	661,765 ± 0,056	575 ± 51	628 ± 71	8,87	11,24	53	9,14
81	14.rinde3.M	661,15	661,115 ± 0,054	579 ± 50	561 ± 64	8,64	11,41	18	3,13
82	14.R3	661,24	661,205 ± 0,032	584 ± 50	557 ± 37	8,56	6,70	27	4,69
83	14.rinde6.M	661,08	661,148 ± 0,023	586 ± 50	606 ± 28	8,53	4,59	20	3,38
84	14.rinde7.M	661,07	661,050 ± 0,045	590 ± 50	557 ± 54	8,47	9,63	33	5,51
85	14.Hem7.M	661,07	661,758 ± 0,026	590 ± 50	765 ± 41	8,47	5,42	175	29,65
86	14.rinde9.M	661,09	661,108 ± 0,033	599 ± 48	527 ± 36	8,01	6,80	72	12,06
87	14.rinde10.M	661,15	661,164 ± 0,033	626 ± 51	635 ± 42	8,15	6,57	9	1,44
88	14.18m.1.h.M	661,18	661,228 ± 0,062	628 ± 49	602 ± 74	7,80	12,29	26	4,13
89	14.rinde4.M	661,21	661,208 ± 0,037	631 ± 50	623 ± 46	7,92	7,42	8	1,27
90	14.rinde1.M	661,16	661,094 ± 0,062	634 ± 49	653 ± 80	7,73	12,25	19	2,96

Tabelle 14: Ergebnisse Teil 5 von 7 für enge Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	rel. Fehler GV [%]	rel. Fehler O [%]	Flächen Diff abs	Flächen Diff rel [%]
91	14.10m.r2.h.M	661,20	661,240 ± 0,023	646 ± 50	579 ± 29	7,74	5,02	67	10,40
92	14.10m.r3.h.M	661,15	661,185 ± 0,040	648 ± 49	562 ± 46	7,56	8,13	86	13,20
93	14.rinde8.M	661,03	661,075 ± 0,051	666 ± 51	656 ± 69	7,66	10,57	10	1,51
94	14.x1.h.M	661,30	661,285 ± 0,033	679 ± 49	570 ± 39	7,22	6,85	109	16,05
95	14.2b.M	661,78	661,829 ± 0,028	723 ± 54	705 ± 40	7,47	5,65	18	2,53
96	14.Hem3.M	661,64	661,672 ± 0,036	753 ± 52	707 ± 52	6,91	7,41	46	6,11
97	13.Pf.III.17.M	661,11	661,112 ± 0,016	819 ± 53	864 ± 27	6,47	3,13	45	5,48
98	14.Hem2.M	661,81	661,801 ± 0,018	820 ± 53	892 ± 33	6,46	3,69	72	8,74
99	14.Hem4.M	661,76	661,752 ± 0,031	841 ± 52	818 ± 53	6,18	6,42	23	2,69
100	14.4m.4.h.M	661,13	661,125 ± 0,028	873 ± 53	869 ± 49	6,07	5,64	4	0,42
101	14.4m.2.h.M	661,14	661,155 ± 0,025	893 ± 54	1018 ± 51	6,05	4,97	125	14,01
102	14.21.h.M	661,81	661,807 ± 0,014	924 ± 85	993 ± 27	9,20	2,76	69	7,43
103	13.St.h2.17.M	661,09	661,109 ± 0,026	948 ± 54	882 ± 48	5,70	5,41	66	6,95
104	14.Hem5.M	661,76	661,750 ± 0,027	960 ± 53	909 ± 51	5,52	5,64	51	5,28
105	14.22.h.M	661,80	661,836 ± 0,023	1000 ± 56	1129 ± 51	5,60	4,48	129	12,94
106	14.4m.3.h.M	661,07	661,100 ± 0,021	1030 ± 53	1022 ± 44	5,15	4,28	8	0,82
107	14.10m.r.h.M	661,13	661,134 ± 0,016	1045 ± 53	992 ± 32	5,07	3,20	53	5,09
108	14.Hem2L.M	661,78	661,800 ± 0,018	1100 ± 56	1062 ± 38	5,09	3,55	38	3,43
109	13.St.h.17	661,14	661,120 ± 0,016	1159 ± 56	1131 ± 37	4,83	3,24	28	2,44
110	14.y1.h.M	661,40	661,363 ± 0,027	1174 ± 56	1259 ± 69	4,77	5,44	85	7,21
111	14.32.h.M	661,78	661,740 ± 0,023	1212 ± 58	1254 ± 58	4,79	4,59	42	3,46
112	14.x2.h.M	661,33	661,309 ± 0,021	1359 ± 59	1329 ± 57	4,34	4,31	30	2,18
113	14.22.b.M	661,76	661,795 ± 0,018	1375 ± 59	1359 ± 49	4,29	3,58	16	1,13
114	14.51.b.M	661,75	661,745 ± 0,021	1396 ± 60	1421 ± 60	4,30	4,25	25	1,79

Tabelle 15: Ergebnisse Teil 6 von 7 für enge Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	rel. Fehler GV [%]	rel. Fehler O [%]	Flächen Diff abs	Flächen Diff rel [%]
115	14.12.h.M	661,81	661,812 ± 0,017	1402 ± 58	1400 ± 48	4,14	3,46	2	0,15
116	14.52.b.M	661,79	661,818 ± 0,027	1434 ± 60	1346 ± 73	4,18	5,40	88	6,12
117	14.42.b.M	661,79	661,761 ± 0,024	1465 ± 60	1422 ± 71	4,10	4,98	43	2,91
118	14.mix.b.M	661,79	661,806 ± 0,015	1466 ± 61	1513 ± 45	4,16	2,96	47	3,20
119	14.20m.1.h.M	661,29	661,228 ± 0,036	1474 ± 58	1428 ± 105	3,93	7,35	46	3,15
120	13.1.1400.M	661,09	661,063 ± 0,012	1474 ± 60	1445 ± 36	4,07	2,48	29	1,96
121	14.32.b.M	661,74	661,707 ± 0,024	1498 ± 60	1410 ± 69	4,01	4,93	88	5,88
122	14.21.b.M	661,71	661,716 ± 0,022	1533 ± 61	1450 ± 64	3,98	4,38	83	5,42
123	14.41.b.M	661,74	661,748 ± 0,021	1540 ± 60	1414 ± 59	3,90	4,20	126	8,18
124	14.1L.M	661,74	661,741 ± 0,013	1574 ± 60	1555 ± 42	3,81	2,72	19	1,23
125	14.Hem6aM	661,76	661,770 ± 0,012	1610 ± 59	1592 ± 39	3,66	2,44	18	1,12
126	14.Hem6.M	661,75	661,730 ± 0,023	1621 ± 60	1547 ± 72	3,70	4,65	74	4,54
127	14.11.b.M	661,72	661,757 ± 0,025	1642 ± 63	1624 ± 80	3,84	4,90	18	1,07
128	14.31.b.M	661,76	661,745 ± 0,017	1718 ± 63	1614 ± 56	3,67	3,48	104	6,07
129	13.St.s.17.M	661,09	661,092 ± 0,021	1720 ± 61	1634 ± 70	3,55	4,31	86	4,99
130	14.12.b.M	661,78	661,778 ± 0,012	1782 ± 64	1813 ± 44	3,59	2,44	31	1,76
131	14.1b.M	661,85	661,835 ± 0,017	1953 ± 65	1823 ± 65	3,33	3,54	130	6,65
132	13.St.r2.17.M	661,08	661,067 ± 0,017	2048 ± 63	1977 ± 68	3,08	3,45	71	3,45
133	13.1.10.M	661,18	661,184 ± 0,014	2063 ± 67	2023 ± 57	3,25	2,82	40	1,94
134	14.St.2.b.17.M	661,04	661,046 ± 0,015	2069 ± 64	2066 ± 62	3,09	2,98	3	0,14
135	14.8mx.4.h.M	661,13	661,161 ± 0,018	2089 ± 144	2275 ± 85	6,89	3,73	186	8,91
136	13.2.10.M	661,13	661,122 ± 0,012	2092 ± 68	2055 ± 51	3,25	2,47	37	1,77
137	14.St.2.17.M	661,02	661,043 ± 0,014	2142 ± 64	2103 ± 58	2,99	2,77	39	1,82
138	14.z1.h.M	661,32	661,317 ± 0,017	2188 ± 64	2116 ± 75	2,93	3,52	72	3,31

Tabelle 16: Ergebnisse Teil 7 von 7 für enge Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	rel. Fehler GV [%]	rel. Fehler O [%]	Flächen Diff abs	Flächen Diff rel [%]
139	13.1a2.1400.M	661,16	661,129 ± 0,024	2226 ± 64	1983 ± 97	2,88	4,89	243	10,92
140	13.2.M	661,13	661,129 ± 0,015	2266 ± 70	2210 ± 66	3,09	2,97	56	2,49
141	13.2a.1400.M	661,23	661,215 ± 0,020	2300 ± 66	2158 ± 88	2,87	4,08	142	6,16
142	13.2.100.M	661,14	661,130 ± 0,017	2314 ± 70	2302 ± 78	3,03	3,39	12	0,52
143	13.1a.1400.M	661,18	661,149 ± 0,017	2396 ± 68	2350 ± 79	2,84	3,36	46	1,91
144	13.2a2.1400.M	661,13	661,129 ± 0,020	2419 ± 68	2215 ± 90	2,81	4,07	204	8,42
145	15.z2.h.M	661,30	661,294 ± 0,016	2508 ± 68	2408 ± 80	2,71	3,33	100	3,99
146	13.2.1900.M	661,16	661,140 ± 0,021	2835 ± 72	2574 ± 109	2,54	4,22	261	9,19
147	18.1.M	661,15	661,163 ± 0,010	2945 ± 70	2868 ± 59	2,38	2,07	77	2,62
148	14.42.h.M	661,78	661,770 ± 0,025	3050 ± 73	3049 ± 151	2,39	4,94	1	0,04
149	13.1.100.M	661,14	661,126 ± 0,015	3288 ± 74	3127 ± 96	2,25	3,06	161	4,91
150	13.1.1500.O.M	661,13	661,111 ± 0,021	3403 ± 75	3359 ± 139	2,20	4,13	44	1,28
151	13.2.1400.M	661,15	661,155 ± 0,007	3483 ± 75	3427 ± 53	2,15	1,55	56	1,62
152	14.52.h.M	661,81	661,779 ± 0,021	3835 ± 79	3659 ± 153	2,06	4,17	176	4,59
153	13.St.r.17.M	661,08	661,089 ± 0,013	3978 ± 78	3765 ± 96	1,96	2,56	213	5,37
154	13.2.1500.O.M	661,13	661,130 ± 0,012	4600 ± 82	4323 ± 105	1,78	2,43	277	6,02
155	13.1.M	661,11	661,107 ± 0,016	5750 ± 93	5503 ± 175	1,62	3,17	247	4,30
156	13.1.1900.M	661,15	661,130 ± 0,020	6728 ± 95	6246 ± 251	1,41	4,02	482	7,17
157	13.Pf.17	661,17	661,148 ± 0,013	8000 ± 102	7702 ± 208	1,28	2,70	298	3,72
158	18.2.M	661,17	661,162 ± 0,010	8878 ± 105	8557 ± 167	1,18	1,95	321	3,61
159	14.Pf.17b.M	661,11	661,098 ± 0,011	22752 ± 161	21442 ± 474	0,71	2,21	1310	5,76
160	14.Pf.17.M	661,04	661,057 ± 0,009	23343 ± 164	22502 ± 389	0,70	1,73	841	3,60
161	14.PF.2.17.b.M	661,12	661,111 ± 0,012	83075 ± 301	78331 ± 1880	0,36	2,40	4744	5,71
162	14.Pf.2.17.M	661,04	661,050 ± 0,009	85650 ± 306	82121 ± 1455	0,36	1,77	3529	4,12

Tabelle 17: Ergebnisse Teil 1 von 7 für weite Grenzen. Fortlaufende Nummer des Spektrums, Name des Spektrums, Lage des Peaks, Fläche des Peaks, relative Fehler der Flächen, absolute Differenz der Flächen und relative Differenz der Flächen. GV=aus GammaVision, O=aus Origin

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	rel. Fehler GV [%]	rel. Fehler O [%]	Flächen Diff abs	Flächen Diff rel [%]
1	13.12.L.M	661,23	608,783 ± 0,018	68 ± 43	1155 ± 30	63,24	2,60	52	1598,79
2	14.8n.5.h.M	660,17	608,739 ± 0,025	122 ± 45	1020 ± 33		3,26	51	735,83
3	14.6m.1o.h.M	661,07	608,811 ± 0,026	148 ± 45	1045 ± 34	30,41	3,23	52	606,13
4	14.2m.1.h.M	661,18	608,789 ± 0,030	149 ± 46	1001 ± 38	30,87	3,85	52	571,53
5	14.4n.5.h.M	660,99	608,716 ± 0,024	160 ± 45	1063 ± 35	28,13	3,25	52	564,33
6	14.6m.4.h.M	661,03	608,793 ± 0,028	180 ± 46	1023 ± 35	25,56	3,47	52	468,35
7	14.6m.2a.h.M	661,12	608,791 ± 0,029	184 ± 46	1151 ± 40	25,00	3,51	52	525,57
8	14.Hem4b.M	661,71	609,380 ± 0,025	185 ± 46	1148 ± 38	24,86	3,31	52	520,39
9	14.4n.4.h.M	661,13	608,658 ± 0,030	186 ± 46	1000 ± 39	24,73	3,88	52	437,69
10	14.12m.1.h.M	661,11	608,792 ± 0,025	189 ± 45	1031 ± 34	23,81	3,33	52	445,59
11	14.10m.4a.h.M	661,09	608,715 ± 0,025	192 ± 47	1074 ± 35	24,48	3,30	52	459,34
12	14.moos.h.M	661,25	608,901 ± 0,023	200 ± 45	1040 ± 33	22,50	3,19	52	419,99
13	14.Hem1.M	662,07	609,518 ± 0,035	215 ± 47	988 ± 44	21,86	4,45	53	359,31
14	14.12m.3.h.M	661,14	608,735 ± 0,030	216 ± 46	1032 ± 41	21,30	4,00	52	377,85
15	14.14n.3.h.M	661,19	608,844 ± 0,036	218 ± 47	1055 ± 44	21,56	4,16	52	383,83
16	14.4n.1.h.M	661,44	608,779 ± 0,028	222 ± 44	1025 ± 37	19,82	3,64	53	361,51
17	14.Hem2b.M	661,91	609,425 ± 0,024	223 ± 47	1151 ± 39	21,08	3,37	52	415,96
18	14.6m.3.h.M	661,04	608,717 ± 0,038	224 ± 46	1029 ± 45	20,54	4,41	52	359,48

Tabelle 18: Ergebnisse Teil 2 von 7 für weite Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	rel. Fehler GV [%]	rel. Fehler O [%]	Flächen Diff abs	Flächen Diff rel [%]
19	14.12m.4.h.M	661,09	608,782 ± 0,028	228 ± 46	1027 ± 38	20,18	3,75	52	350,46
20	14.4n.3.h.M	661,09	608,714 ± 0,034	229 ± 48	978 ± 43	20,96	4,35	52	327,04
21	14.Hem5bx.M	661,8	609,344 ± 0,032	234 ± 46	1075 ± 42	19,66	3,95	52	359,32
22	14.8n.2.h.M	661,53	608,794 ± 0,033	239 ± 46	1042 ± 44	19,25	4,22	53	336,19
23	14.6m.1.h.M	661,14	608,719 ± 0,035	240 ± 46	1053 ± 43	19,17	4,08	52	338,57
24	14.4n.2.h.M	661,2	608,807 ± 0,029	243 ± 46	1040 ± 38	18,93	3,70	52	327,89
25	14.10m.2.h.M	661,1	608,779 ± 0,030	261 ± 45	1082 ± 40	17,24	3,72	52	314,57
26	14.8n.3.h.M	661,07	608,864 ± 0,034	264 ± 46	1050 ± 43	17,42	4,13	52	297,68
27	14.14m.1.h.M	661,18	608,806 ± 0,029	270 ± 45	1109 ± 41	16,67	3,71	52	310,60
28	14.12n.2.h.M	661,01	608,629 ± 0,036	274 ± 47	1020 ± 47	17,15	4,59	52	272,13
29	14.8n.4.h.M	661,19	608,735 ± 0,028	277 ± 45	1041 ± 39	16,25	3,78	52	275,67
30	14.10m.4.h.M	661,17	608,785 ± 0,028	277 ± 46	1041 ± 40	16,61	3,82	52	275,93
31	14.Hem5b.M	661,88	609,309 ± 0,031	281 ± 46	1083 ± 43	16,37	4,00	53	285,32
32	14.6m.5.h.M	661,2	608,712 ± 0,040	290 ± 48	1008 ± 48	16,55	4,74	52	247,67
33	14.14m.3.h.M	661,15	608,807 ± 0,030	290 ± 46	1073 ± 44	15,86	4,07	52	269,85
34	14.8m.3.h.M	661,21	608,831 ± 0,032	290 ± 46	1012 ± 42	15,86	4,17	52	248,99
35	14.12m.2.h.M	661,14	608,874 ± 0,029	292 ± 45	1005 ± 37	15,41	3,72	52	244,15
36	14.12n.3.h.M	661,06	608,721 ± 0,031	295 ± 47	1051 ± 46	15,93	4,34	52	256,43
37	14.rinde12.M	661,05	608,705 ± 0,040	296 ± 49	1049 ± 50	16,55	4,80	52	254,37
38	14.Hem3b.M	661,73	609,395 ± 0,026	298 ± 47	1078 ± 38	15,77	3,54	52	261,90
39	14.8n.1.h.M	661,2	608,790 ± 0,030	299 ± 45	1115 ± 42	15,05	3,76	52	272,77
40	14.6m.2.h.M	661,07	608,714 ± 0,027	300 ± 46	1093 ± 37	15,33	3,41	52	264,34
41	14.6m.1.a.h.M	661,16	608,812 ± 0,040	303 ± 47	1074 ± 46	15,51	4,26	52	254,49
42	14.14n.1.h.M	661,03	608,728 ± 0,028	303 ± 46	1064 ± 40	15,18	3,79	52	251,09

Tabelle 19: Ergebnisse Teil 3 von 7 für weite Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	rel. Fehler GV [%]	rel. Fehler O [%]	Flächen Diff abs	Flächen Diff rel [%]
43	14.12n.1.h.M	661,19	608,661 ± 0,031	307 ± 45	1048 ± 43	14,66	4,06	53	241,25
44	14.11.h.M	661,89	609,397 ± 0,027	310 ± 46	1063 ± 41	14,84	3,85	52	242,85
45	14.St.17.b.M	661,11	608,824 ± 0,037	311 ± 49	1108 ± 49	15,76	4,41	52	256,19
46	14.St.17.M	660,97	608,659 ± 0,030	312 ± 48	1084 ± 45	15,38	4,14	52	247,43
47	14.2m.5.h.M	661,22	608,756 ± 0,035	320 ± 47	994 ± 45	14,69	4,55	52	210,55
48	14.12n.51.h.M	661,09	608,772 ± 0,032	320 ± 46	1019 ± 44	14,37	4,30	52	218,30
49	13.14.L.M	661,17	608,831 ± 0,033	325 ± 47	1021 ± 45	14,46	4,39	52	214,04
50	14.10m.1.h.M	661,06	608,831 ± 0,034	328 ± 46	1007 ± 42	14,02	4,19	52	207,14
51	14.Hem1a.M	661,85	609,342 ± 0,028	333 ± 48	1008 ± 44	14,41	4,37	53	202,66
52	14.16m.1.h.M	660,86	608,822 ± 0,036	336 ± 49	1103 ± 49	14,58	4,48	52	228,20
53	14.2m.2.h.M	661,23	608,750 ± 0,031	336 ± 46	994 ± 43	13,69	4,28	52	195,78
54	14.12n.53.h.M	661,15	608,833 ± 0,034	336 ± 45	965 ± 44	13,39	4,56	52	187,15
55	14.Hem1b.M	661,82	609,371 ± 0,029	337 ± 45	1135 ± 42	13,35	3,68	52	236,75
56	14.4m.5.h.M	661,16	608,749 ± 0,029	339 ± 47	1121 ± 45	13,86	4,00	52	230,68
57	14.12n.52.h.M	661,07	608,707 ± 0,038	340 ± 48	1049 ± 50	14,12	4,78	52	208,63
58	14.R4.h.M	661,28	608,793 ± 0,034	342 ± 47	1114 ± 46	13,74	4,10	52	225,73
59	14.14n.2.h.M	661,03	608,752 ± 0,034	343 ± 47	1027 ± 45	13,70	4,37	52	199,30
60	14.12n.4.h.M	661,22	608,814 ± 0,035	354 ± 46	1010 ± 47	12,99	4,65	52	185,45
61	14.6m.5o.h.M	661,01	608,834 ± 0,031	355 ± 46	1074 ± 39	12,96	3,65	52	202,55
62	14.R4.h.w.M	661,18	608,776 ± 0,045	356 ± 48	1026 ± 57	13,48	5,53	52	188,18
63	14.rinde11.M	661,08	608,696 ± 0,039	357 ± 49	1018 ± 53	13,73	5,20	52	185,28
64	14.14m.2.h.M	661,38	608,782 ± 0,032	371 ± 46	1032 ± 42	12,40	4,06	53	178,30
65	14.41.h.M	661,74	609,309 ± 0,033	373 ± 47	1026 ± 44	12,60	4,26	52	175,00
66	14.2m.4.h.M	661,04	608,764 ± 0,035	374 ± 46	1024 ± 46	12,30	4,47	52	173,73

Tabelle 20: Ergebnisse Teil 4 von 7 für weite Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	rel. Fehler GV [%]	rel. Fehler O [%]	Flächen Diff abs	Flächen Diff rel [%]
67	14.St.17.a.M	661,06	608,827 ± 0,038	390 ± 48	1008 ± 49	12,31	4,87	52	158,53
68	14.rinde5.M	661,1	608,713 ± 0,045	402 ± 50	1077 ± 60	12,44	5,61	52	167,87
69	14.y3.h.M	661,41	608,875 ± 0,029	409 ± 51	1507 ± 57	12,47	3,75	53	268,40
70	14.2m.3.h.M	661,15	608,730 ± 0,035	416 ± 47	1078 ± 50	11,30	4,61	52	159,06
71	13.LR.b.17.M	660,99	608,643 ± 0,038	417 ± 49	1126 ± 55	11,75	4,92	52	170,08
72	14.y2.h.M	661,26	608,951 ± 0,025	425 ± 50	1651 ± 53	11,76	3,23	52	288,37
73	14.18m.2.h.M	661,25	608,869 ± 0,034	430 ± 48	1042 ± 49	11,16	4,73	52	142,35
74	14.rinde2.M	661,11	608,758 ± 0,045	430 ± 49	1020 ± 57	11,40	5,62	52	137,11
75	14.16m.2.h.M	661,16	608,898 ± 0,043	457 ± 48	1014 ± 54	10,50	5,34	52	121,89
76	13.LR.a.17.M	660,95	608,614 ± 0,035	467 ± 48	1048 ± 50	10,28	4,77	52	124,49
77	14.R5.h.M	661,09	608,758 ± 0,041	489 ± 48	1059 ± 55	9,82	5,20	52	116,49
78	17.Pf.17.M	661,23	608,697 ± 0,038	492 ± 49	1103 ± 56	9,96	5,12	53	124,15
79	14.4m.1.h.M	661,11	608,838 ± 0,045	556 ± 48	953 ± 59	8,63	6,15	52	71,43
80	14.31.h.M	661,78	609,360 ± 0,044	575 ± 51	1153 ± 67	8,87	5,85	52	100,57
81	14.rinde3.M	661,15	608,766 ± 0,052	579 ± 50	965 ± 66	8,64	6,82	52	66,68
82	14.R3	661,24	608,791 ± 0,043	584 ± 50	1111 ± 65	8,56	5,83	52	90,19
83	14.rinde6.M	661,08	608,682 ± 0,045	586 ± 50	1056 ± 63	8,53	5,95	52	80,16
84	14.rinde7.M	661,07	608,817 ± 0,052	590 ± 50	1129 ± 71	8,47	6,29	52	91,38
85	14.Hem7.M	661,07	609,383 ± 0,053	590 ± 50	1085 ± 79	8,47	7,25	52	83,85
86	14.rinde9.M	661,09	608,743 ± 0,041	599 ± 48	1043 ± 59	8,01	5,68	52	74,18
87	14.rinde10.M	661,15	608,702 ± 0,056	626 ± 51	1071 ± 73	8,15	6,81	52	71,16
88	14.18m.1.h.M	661,18	608,860 ± 0,049	628 ± 49	1081 ± 66	7,80	6,13	52	72,20
89	14.rinde4.M	661,21	608,760 ± 0,052	631 ± 50	1001 ± 66	7,92	6,55	52	58,69
90	14.rinde1.M	661,16	608,683 ± 0,054	634 ± 49	1072 ± 70	7,73	6,56	52	69,10

Tabelle 21: Ergebnisse Teil 5 von 7 für weite Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	rel. Fehler GV [%]	rel. Fehler O [%]	Flächen Diff abs	Flächen Diff rel [%]
91	14.10m.r2.h.M	661,2	608,744 ± 0,056	646 ± 50	1070 ± 75	7,74	7,01	52	65,57
92	14.10m.r3.h.M	661,15	608,799 ± 0,043	648 ± 49	1049 ± 62	7,56	5,94	52	61,90
93	14.rinde8.M	661,03	608,700 ± 0,060	666 ± 51	1054 ± 78	7,66	7,38	52	58,20
94	14.x1.h.M	661,3	608,906 ± 0,048	679 ± 49	1132 ± 69	7,22	6,06	52	66,73
95	14.2b.M	661,78	609,350 ± 0,034	723 ± 54	1635 ± 76	7,47	4,65	52	126,19
96	14.Hem3.M	661,64	609,334 ± 0,054	753 ± 52	1092 ± 79	6,91	7,28	52	45,02
97	13.Pf.III.17.M	661,11	608,706 ± 0,059	819 ± 53	1104 ± 85	6,47	7,72	52	34,75
98	14.Hem2.M	661,81	609,369 ± 0,063	820 ± 53	1130 ± 92	6,46	8,13	52	37,75
99	14.Hem4.M	661,76	609,337 ± 0,059	841 ± 52	1091 ± 86	6,18	7,92	52	29,69
100	14.4m.4.h.M	661,13	608,727 ± 0,063	873 ± 53	1070 ± 89	6,07	8,33	52	22,60
101	14.4m.2.h.M	661,14	608,756 ± 0,067	893 ± 54	1035 ± 94	6,05	9,13	52	15,86
102	14.21.h.M	661,81	609,429 ± 0,068	924 ± 85	1153 ± 101	9,20	8,75	52	24,73
103	13.St.h2.17.M	661,09	608,752 ± 0,069	948 ± 54	1070 ± 97	5,70	9,09	52	12,90
104	14.Hem5.M	661,76	661,749 ± 0,079	960 ± 53	859 ± 100	5,52	11,69	0	10,56
105	14.22.h.M	661,8	609,357 ± 0,050	1000 ± 56	1366 ± 100	5,60	7,33	52	36,56
106	14.4m.3.h.M	661,07	608,667 ± 0,065	1030 ± 53	1024 ± 96	5,15	9,41	52	0,60
107	14.10m.r.h.M	661,13	608,755 ± 0,066	1045 ± 53	1021 ± 96	5,07	9,42	52	2,27
108	14.Hem2L.M	661,78	609,340 ± 0,050	1100 ± 56	1639 ± 108	5,09	6,61	52	49,03
109	13.St.h.17	661,14	661,120 ± 0,070	1159 ± 56	1133 ± 107	4,83	9,42	0	2,28
110	14.y1.h.M	661,4	608,968 ± 0,070	1174 ± 56	1216 ± 120	4,77	9,87	52	3,58
111	14.32.h.M	661,78	609,258 ± 0,060	1212 ± 58	1547 ± 123	4,79	7,93	53	27,68
112	14.x2.h.M	661,33	608,897 ± 0,067	1359 ± 59	1536 ± 138	4,34	8,96	52	13,02
113	14.22.b.M	661,76	609,347 ± 0,059	1375 ± 59	1712 ± 136	4,29	7,94	52	24,51
114	14.51.b.M	661,75	609,340 ± 0,067	1396 ± 60	1714 ± 144	4,30	8,38	52	22,76

Tabelle 22: Ergebnisse Teil 6 von 7 für weite Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	rel. Fehler GV [%]	rel. Fehler O [%]	Flächen Diff abs	Flächen Diff rel [%]
115	14.12.h.M	661,81	609,402 ± 0,069	1402 ± 58	1483 ± 134	4,14	9,02	52	5,75
116	14.52.b.M	661,79	609,399 ± 0,061	1434 ± 60	1868 ± 142	4,18	7,61	52	30,23
117	14.42.b.M	661,79	609,344 ± 0,065	1465 ± 60	1687 ± 147	4,10	8,69	52	15,13
118	14.mix.b.M	661,79	609,360 ± 0,072	1466 ± 61	1563 ± 152	4,16	9,74	52	6,64
119	14.20m.1.h.M	661,29	661,227 ± 0,058	1474 ± 58	1390 ± 106	3,93	7,66	0	5,71
120	13.1.1400.M	661,09	608,691 ± 0,048	1474 ± 60	2251 ± 144	4,07	6,40	52	52,70
121	14.32.b.M	661,74	609,222 ± 0,066	1498 ± 60	1702 ± 148	4,01	8,67	53	13,62
122	14.21.b.M	661,71	609,303 ± 0,061	1533 ± 61	1668 ± 144	3,98	8,66	52	8,79
123	14.41.b.M	661,74	609,324 ± 0,067	1540 ± 60	1712 ± 149	3,90	8,68	52	11,19
124	14.1L.M	661,74	661,741 ± 0,062	1574 ± 60	1533 ± 128	3,81	8,36	0	2,59
125	14.Hem6aM	661,76	661,769 ± 0,055	1610 ± 59	1532 ± 111	3,66	7,26	0	4,82
126	14.Hem6.M	661,75	661,730 ± 0,057	1621 ± 60	1516 ± 119	3,70	7,84	0	6,49
127	14.11.b.M	661,72	609,349 ± 0,074	1642 ± 63	1643 ± 161	3,84	9,77	52	0,04
128	14.31.b.M	661,76	609,298 ± 0,068	1718 ± 63	1712 ± 163	3,67	9,53	52	0,36
129	13.St.s.17.M	661,09	661,092 ± 0,046	1720 ± 61	1646 ± 107	3,55	6,47	0	4,30
130	14.12.b.M	661,78	661,777 ± 0,073	1782 ± 64	1727 ± 172	3,59	9,93	0	3,07
131	14.1b.M	661,85	661,836 ± 0,061	1953 ± 65	1846 ± 152	3,33	8,21	0	5,48
132	13.St.r2.17.M	661,08	661,067 ± 0,040	2048 ± 63	1968 ± 106	3,08	5,39	0	3,92
133	13.1.10.M	661,18	608,735 ± 0,056	2063 ± 67	2599 ± 205	3,25	7,90	52	26,00
134	14.St.2.b.17.M	661,04	661,046 ± 0,038	2069 ± 64	2065 ± 102	3,09	4,95	0	0,20
135	14.8mx.4.h.M	661,13	608,808 ± 0,021	2089 ± 144	10342 ± 292	6,89	2,82	52	395,06
136	13.2.10.M	661,13	608,710 ± 0,055	2092 ± 68	2565 ± 204	3,25	7,96	52	22,61
137	14.St.2.17.M	661,02	661,044 ± 0,038	2142 ± 64	2073 ± 106	2,99	5,09	0	3,22
138	14.z1.h.M	661,32	661,317 ± 0,041	2188 ± 64	2082 ± 118	2,93	5,67	0	4,82

Tabelle 23: Ergebnisse Teil 7 von 7 für weite Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage GV [keV]	Lage O [keV]	Fläche GV	Fläche O	rel. Fehler GV [%]	rel. Fehler O [%]	Flächen Diff abs	Flächen Diff rel [%]
139	13.1a2.1400.M	661,16	661,130 ± 0,046	2226 ± 64	2019 ± 121	2,88	6,02	0	9,31
140	13.2.M	661,13	608,734 ± 0,074	2266 ± 70	2262 ± 224	3,09	9,89	52	0,17
141	13.2a.1400.M	661,23	661,216 ± 0,049	2300 ± 66	2207 ± 145	2,87	6,56	0	4,06
142	13.2.100.M	661,14	661,130 ± 0,076	2314 ± 70	2278 ± 237	3,03	10,40	0	1,56
143	13.1a.1400.M	661,18	661,149 ± 0,049	2396 ± 68	2360 ± 153	2,84	6,48	0	1,50
144	13.2a2.1400.M	661,13	661,129 ± 0,049	2419 ± 68	2315 ± 148	2,81	6,40	0	4,31
145	15.z2.h.M	661,3	661,294 ± 0,046	2508 ± 68	2423 ± 148	2,71	6,10	0	3,40
146	13.2.1900.M	661,16	661,140 ± 0,054	2835 ± 72	2642 ± 194	2,54	7,33	0	6,81
147	18.1.M	661,15	661,163 ± 0,037	2945 ± 70	2861 ± 137	2,38	4,80	0	2,84
148	14.42.h.M	661,78	661,769 ± 0,039	3050 ± 73	2982 ± 143	2,39	4,80	0	2,22
149	13.1.100.M	661,14	661,126 ± 0,042	3288 ± 74	3183 ± 176	2,25	5,54	0	3,18
150	13.1.1500.O.M	661,13	661,111 ± 0,028	3403 ± 75	3363 ± 118	2,20	3,51	0	1,16
151	13.2.1400.M	661,15	661,155 ± 0,032	3483 ± 75	3420 ± 153	2,15	4,47	0	1,81
152	14.52.h.M	661,81	661,781 ± 0,026	3835 ± 79	3788 ± 125	2,06	3,29	0	1,22
153	13.St.r.17.M	661,08	661,089 ± 0,021	3978 ± 78	3895 ± 111	1,96	2,85	0	2,09
154	13.2.1500.O.M	661,13	661,130 ± 0,022	4600 ± 82	4476 ± 125	1,78	2,78	0	2,69
155	13.1.M	661,11	661,108 ± 0,029	5750 ± 93	5728 ± 210	1,62	3,66	0	0,39
156	13.1.1900.M	661,15	661,132 ± 0,017	6728 ± 95	6573 ± 140	1,41	2,13	0	2,30
157	13.Pf.17	661,17	661,149 ± 0,011	8000 ± 102	7926 ± 112	1,28	1,41	0	0,93
158	18.2.M	661,17	661,162 ± 0,010	8878 ± 105	8764 ± 115	1,18	1,31	0	1,28
159	14.Pf.17b.M	661,11	661,098 ± 0,005	22752 ± 161	22550 ± 153	0,71	0,68	0	0,89
160	14.Pf.17.M	661,04	661,058 ± 0,005	23343 ± 164	23452 ± 147	0,70	0,63	0	0,47
161	14.PF.2.17.b.M	661,12	661,112 ± 0,004	83075 ± 301	82724 ± 412	0,36	0,50	0	0,42
162	14.Pf.2.17.M	661,04	661,051 ± 0,003	85650 ± 306	85869 ± 349	0,36	0,41	0	0,26

Tabelle 24: Ergebnisse von Messungen, die keinen erkennbaren Peak bei 661,66 keV hatten, daher nur Origin Auswertung in weiten Grenzen.

Nr.	Name des Spektrums	Lage O [keV]	Fläche O	rel. Fehler O [%]
163	8.b.2.M	608,748 ± 0,022	1062 ± 30	2,85
164	8.b.1.M	608,759 ± 0,026	976 ± 33	3,37
165	14.tn.h.M	608,894 ± 0,023	1087 ± 32	2,95
166	14.Bu21M	609,441 ± 0,016	4747 ± 101	2,13
167	14.Bu2M	609,295 ± 0,023	1043 ± 33	3,13
168	14.Bu3M	609,395 ± 0,022	1058 ± 33	3,10
169	13.11.L.M	608,780 ± 0,024	1094 ± 34	3,15
170	14.BuAM	609,348 ± 0,020	1103 ± 29	2,67
171	13.13.L.M	608,829 ± 0,021	1106 ± 31	2,79
172	14.BuIM	609,400 ± 0,021	1081 ± 32	2,96
173	14.bl.b.M	608,893 ± 0,021	1152 ± 30	2,65
174	14.Bu4M	609,442 ± 0,022	1170 ± 31	2,69
175	14.51.h.M	609,324 ± 0,027	1004 ± 33	3,28

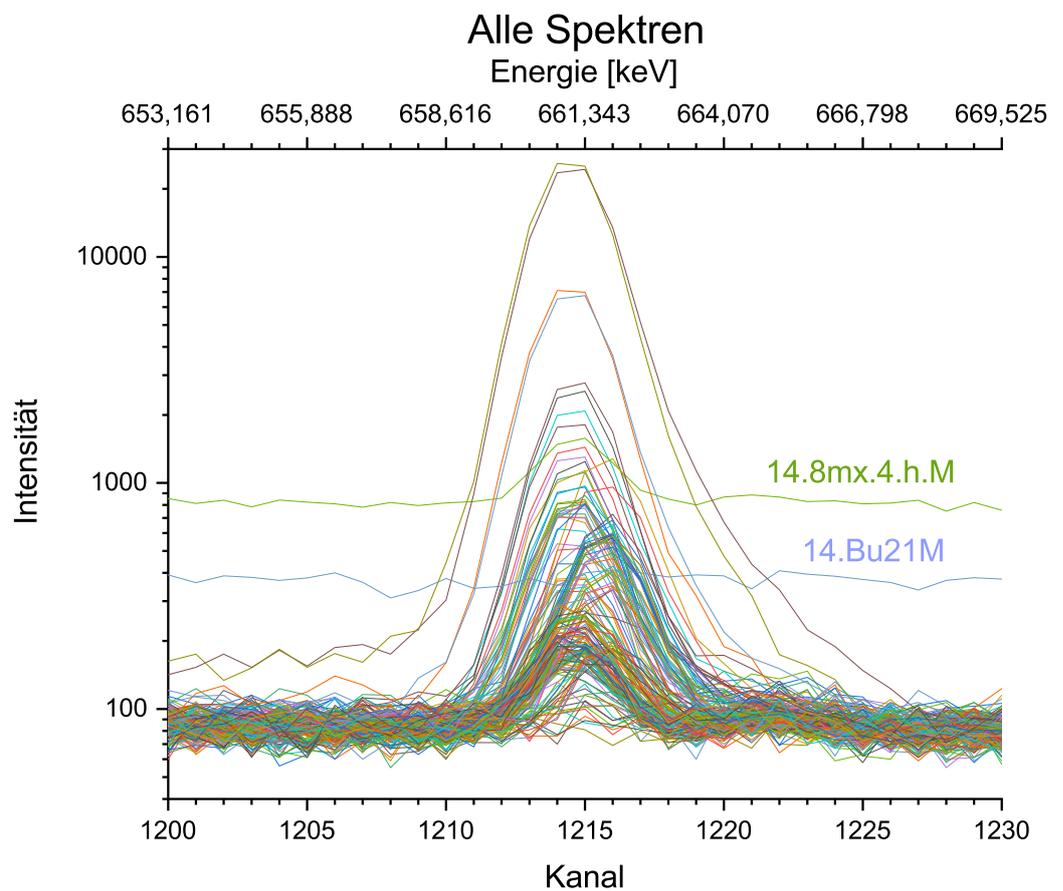


Abbildung 21: Alle Spektren in einem Diagramm aus Origin.

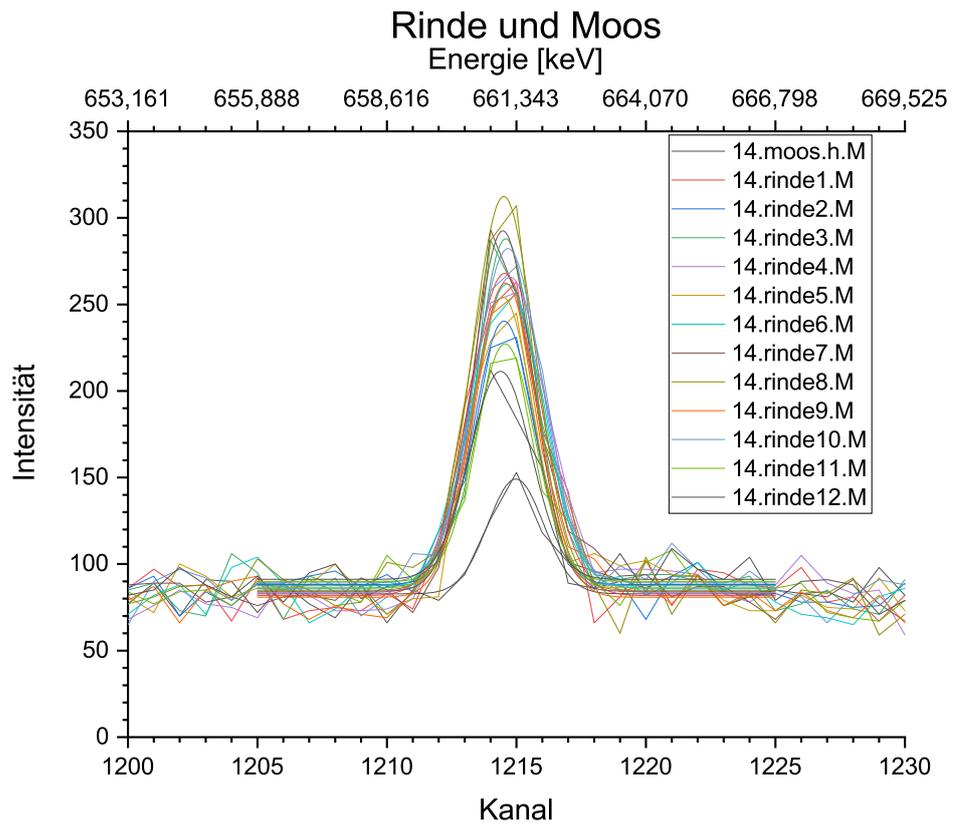


Abbildung 22: Spektren von Moos und Rinde.

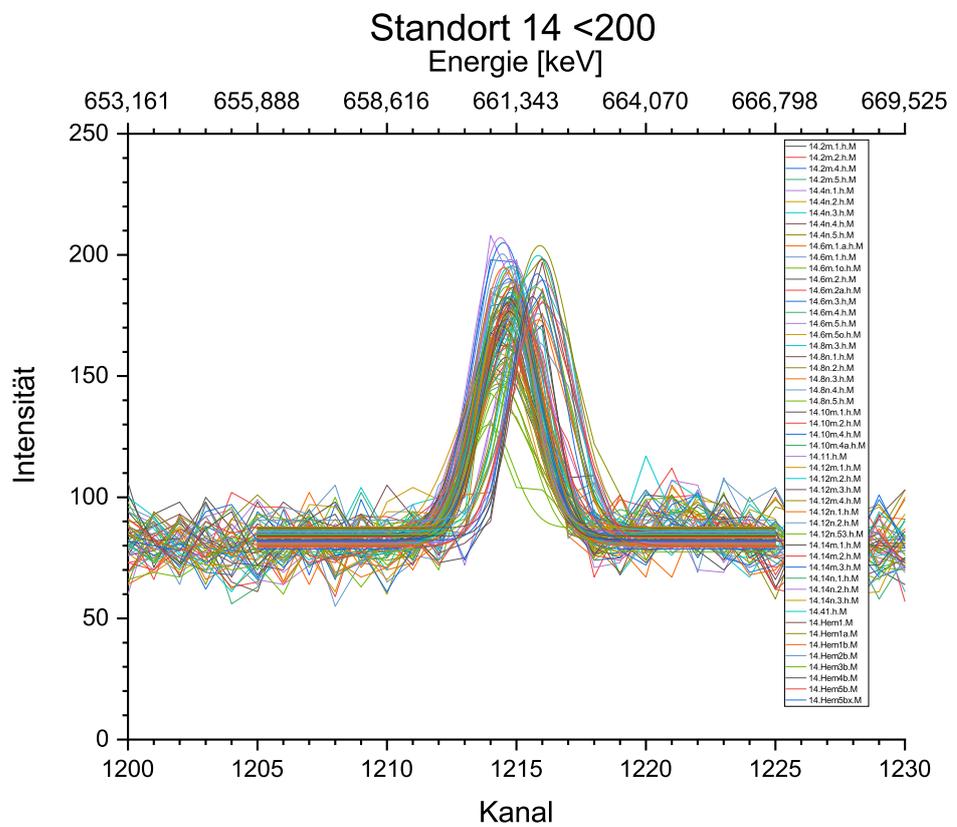


Abbildung 23: Spektren vom Standort 14 mit Peakhöhe bis 200 Counts.

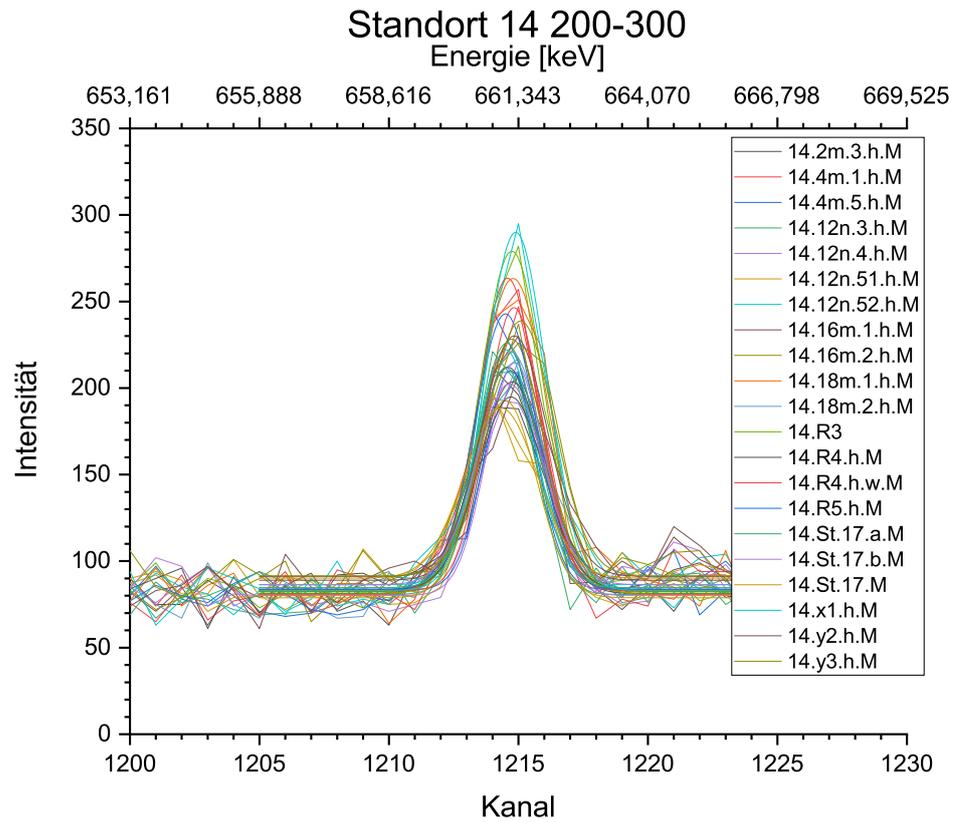


Abbildung 24: Spektren vom Standort 14 mit Peakhöhe 200-300 Counts.

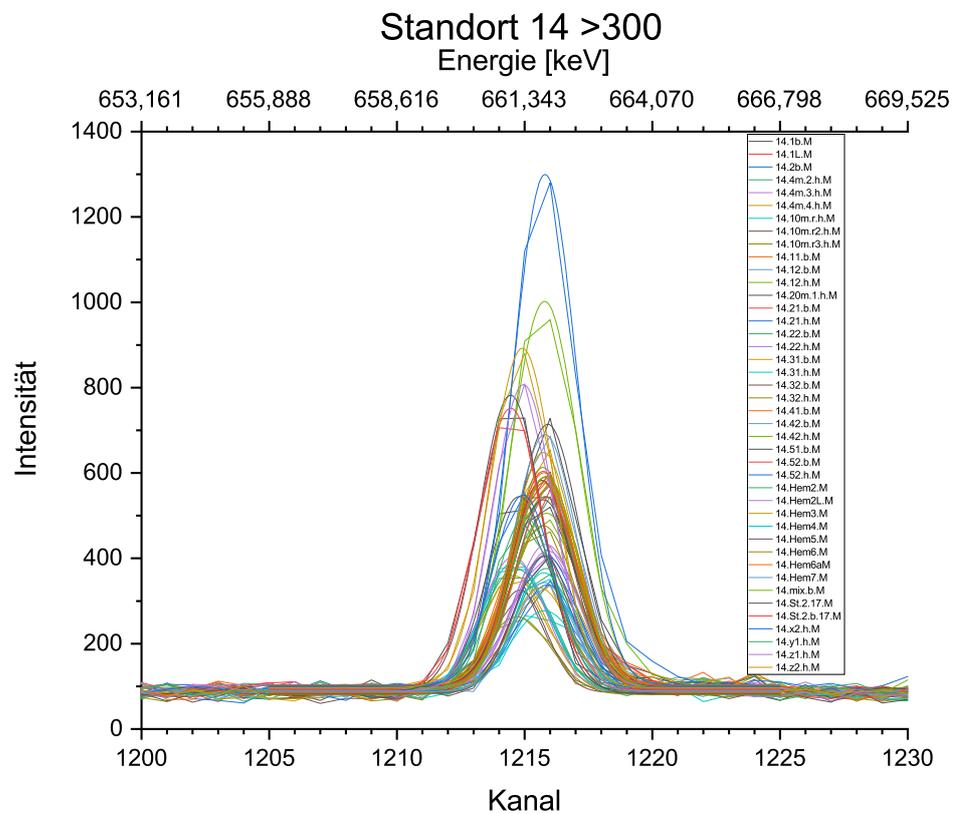


Abbildung 25: Spektren vom Standort 14 mit Peakhöhe ab 300 Counts.

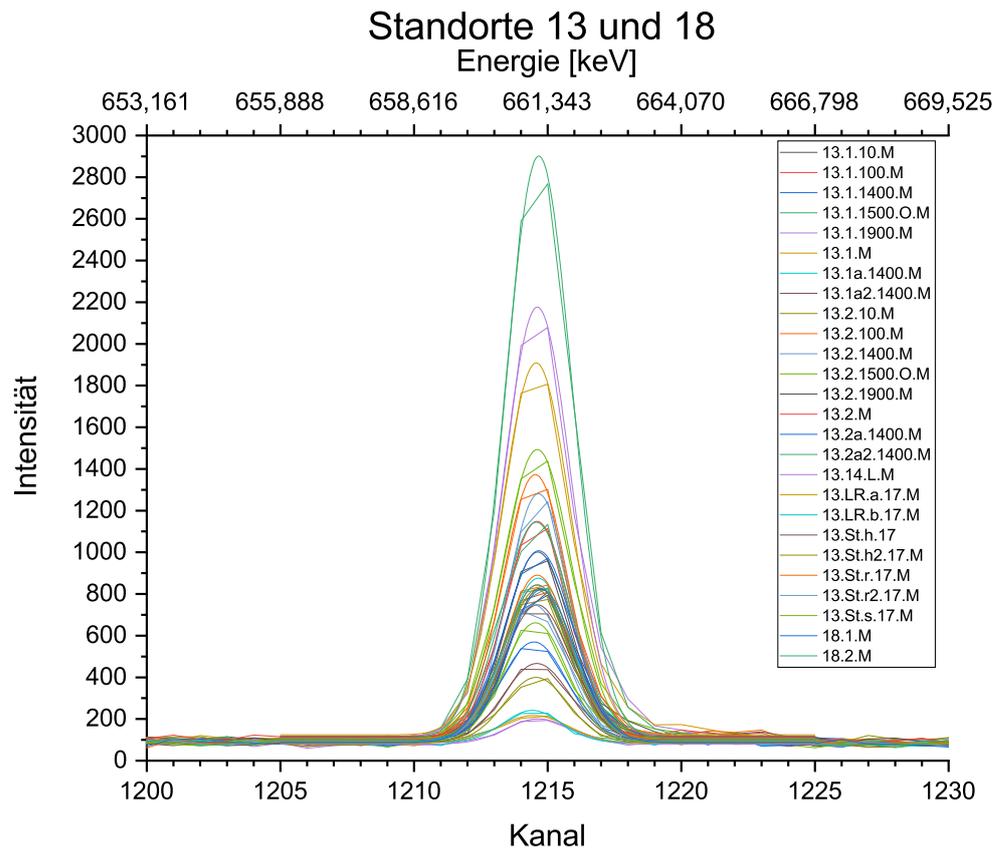


Abbildung 26: Spektren von den Standorten 13 und 18.

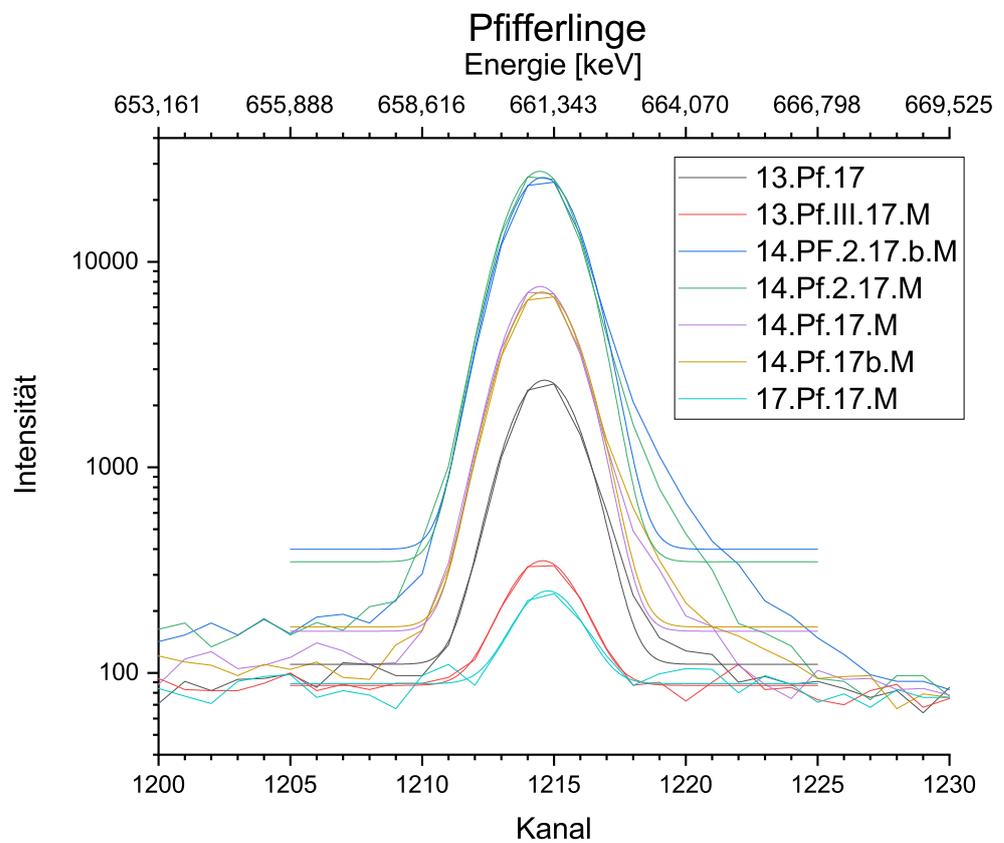


Abbildung 27: Spektren von Pffierlingen.

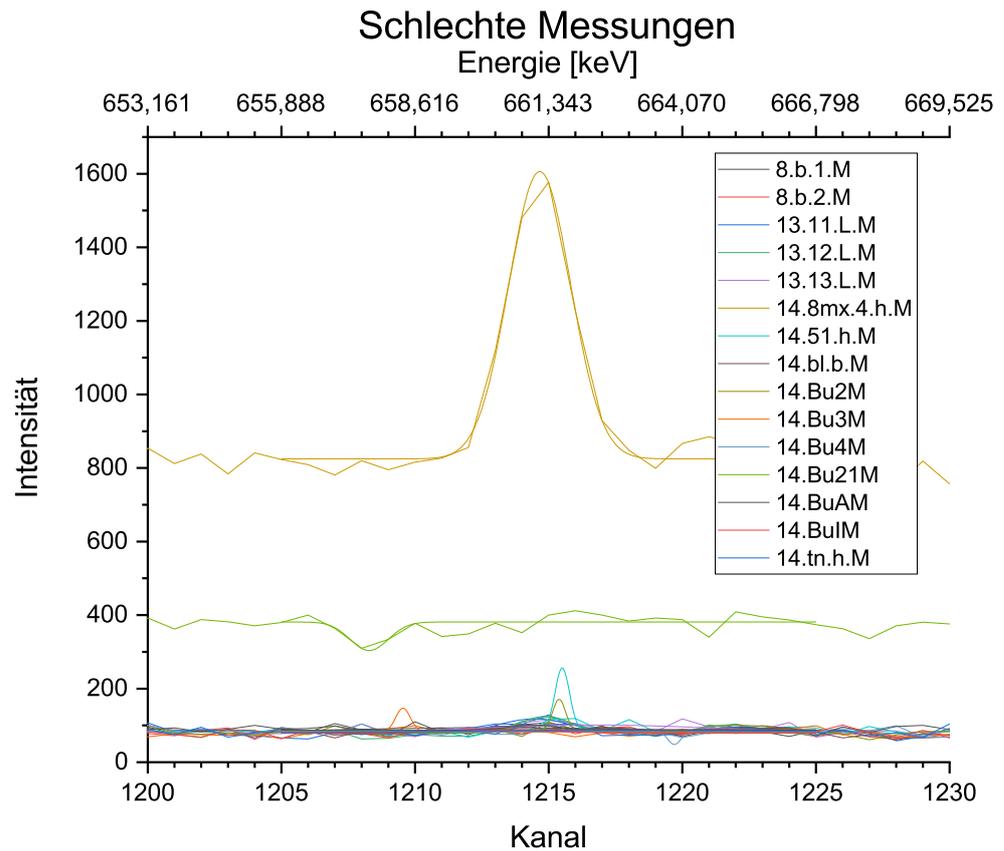


Abbildung 28: Spektren von schlechten Messungen, z. B. ohne erkennbaren Peak.

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich den Mitgliedern der Abteilung Nuklearchemie der Universität zu Köln meinen Dank aussprechen. Allen voran Uwe Otto, der nicht nur die meisten Proben dieser Arbeit gesammelt hat, sondern ebenso die Mehrzahl der Spektren aufgenommen hat. Des weiteren natürlich danke ich Erik Strub, welcher stets für mich Zeit hatte, mir geduldig und verständnisvoll zugehört und mich unterstützt hat.

Ebenso möchte ich mich bei Markus Gebhardt bedanken, ohne den mich mein Weg wohl nie zur Nuklearchemie geführt hätte.

## Literatur

- [1] De Cort, M., Dubois, G., Fridman, S., Germenchuck, M., Izrael, Y., ... Avdyushin, S. (1998). *Atlas of Caesium deposition on Europe after the Chernobyl accident*. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities.
- [2] <http://www.oecd-nea.org/rp/chernobyl/> (Abgerufen 12.06.18)
- [3] <https://www.iaea.org/topics/emergency-preparedness-and-response-epr/international-nuclear-radiological-event-scale-ines> (Abgerufen 12.06.18)
- [4] Sonnauer, P. (2015) *Gamma-Spektrometrische Bestimmung von Cs-137 aus dem Tschernobyl-Fallout in europäischen Wildpilzen*. Universität zu Köln.
- [5] Schütz, C. (2016) *Herstellung von Cs-137-Standards für die Messung von Boden- und Pilzproben mit Gammaskpektrometrie*. Universität zu Köln.
- [6] Gasper, K. (2016) *Analyse von Bodenproben auf Cs-137*. Universität zu Köln.
- [7] Gebhardt, M. (2016) *Korrelation der Cs-137-Kontamination von Pilz- und Bodenproben*. Universität zu Köln.
- [8] Advanced Measurement Technology, Inc (2013) *GammaVision A66-BW Software User's Manual*, USA.
- [9] S.V.Fesenko, N.V.Sukhova, I.Spiridonov, N.I.Sanzharova, R.Avila, D.Klein, P.M.Bado, *Russian Journal of Ecology*. March 2003, 34, Issue 2, pp 104-109.

## Selbständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die schriftliche Hausarbeit - einschließlich beigefügter Zeichnungen, Kartenskizzen und Darstellungen - selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder Sinne nach anderen Werken entnommen sind, habe ich in jedem Fall unter Angabe der Quelle deutlich als Entlehnung kenntlich gemacht.

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift