

**Physikalisches
Fortgeschrittenenpraktikum
Versuch 01: Lebensdauer kosmischer
Myonen**

Sebastian Rollke

103095

webmaster@rollke.com

und

Daniel Brenner

105292

daniel.brenner@uni-dortmund.de

durchgeführt am 3. Juli 2006

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Theorie	4
2.1. Allgemein	4
2.2. Eigenschaften von Leptonen	4
2.3. Das Myon	4
2.4. Definition der Lebensdauer	5
3. Durchführung	7
3.1. Allgemein	7
3.2. Szintillator	7
3.3. Sekundärelektronenvervielfacher (SEV)	7
3.4. Versuchselektronik	8
3.4.1. Prinzip	8
3.4.2. Berücksichtigung von Fehlerquellen	8
3.4.3. Justage	9
4. Auswertung	10
4.1. Allgemein	10
4.2. Bestimmung der Untergrundrate	10
4.3. Kalibrierung des VKA	11
4.4. Bestimmung der Myonen-Lebensdauer	11
4.5. Statistische Überprüfung des Ergebnisses	14
4.6. Fehlerbetrachtung	14
A. Messwerte	16

1. Einleitung

Hochenergetische kosmische Strahlung (insbesondere Protonen) erzeugen bei ihrem Auftreffen auf die obere Atmosphäre (in ca. 10 km) Höhe Pionen und Kaonen, die wiederum zu Myonen und Anti-Myonen¹, sowie den entsprechenden Neutrinos zerfallen. Die so entstandenen Myonen sind kurzlebig² und können die Erde nur aufgrund ihrer relativistischen Geschwindigkeit und der damit verbundenen Zeitdilatation erreichen³.

In Deutschland zählt man in etwa 200 Myonen/m²s. Das Ziel dieses Versuches ist eine Messung der Lebensdauer dieser Myonen.

Zu diesem Zweck nutzt man die Wechselwirkung der elektrisch geladenen Myonen mit Materie. Diese äußert sich bei Wahl entsprechender Materialien (sog. Szintillatoren) durch das emittieren von Photonen im sichtbaren bzw. nahen UV-Spektrum, die sich verhältnismäßig leicht nachweisen lassen.

¹Der Begriff "Myon" wird im weiteren synonym für Myonen und Anti-Myonen verwendet

²die typische Lebensdauer liegt bei ca. 2,2 μ s [Quelle: "Particle Physics Booklet"]

³Ohne relativistische Effekte würde die Reichweite lediglich einige hundert Meter betragen

2. Theorie

2.1. Allgemein

Die uns heute bekannten Teilchen ordnet man den beiden Gruppen der Leptonen und der Quarks zu¹. Die in diesem Versuch untersuchten Myonen stammen aus der Gruppe der Leptonen.

2.2. Eigenschaften von Leptonen

Die Leptonen werden in 3 Generationen eingeteilt (vgl. Tabelle 2.1), die sich in Masse und Stabilität unterscheiden, von denen die Tauonen die kürzeste Lebensdauer haben und einzig die Elektronen stabil sind. Neben Elektron, Myon und Tauon existieren noch die (elektrisch neutralen) Neutrinos². Da sämtliche Leptonen Fermionen sind, besitzen sie einen Spin von $1/2 \hbar$ und unterliegen der Fermi-Dirac-Statistik.

Generation	Teilchen		Anti-Teilchen	
	Name	Symbol	Name	Symbol
1.	Elektron	e^-	Positron	e^+
2.	Myon	μ^-	Anti-Myon	μ^+
3.	Tauon	τ^-	Anti-Tauon	τ^+
1.	Elektron-Neutrino	ν_e	Positron-Neutrino	$\bar{\nu}_e$
2.	Myon-Neutrino	ν_μ	Anti-Myon Neutrino	$\bar{\nu}_\mu$
3.	Tauon-Neutrino	ν_τ	Anti-Tauon-Neutrino	$\bar{\nu}_\tau$

Tabelle 2.1.: Die Gruppe der Leptonen

2.3. Das Myon

Die kosmischen Myonen entstammen aus Pionen Zerfällen (vgl. 2.1 und 2.2 auf der nächsten Seite)

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \quad (2.1)$$

¹Zudem existieren noch die Wechselwirkungsteilchen (Eichbosonen)

²Die Existenz der Neutrinos ergab sich zunächst aus den Erhaltungsprinzipien und konnte letztlich auch experimentell nachgewiesen werden

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu \quad (2.2)$$

Wie bereits erwähnt handelt es sich bei den Pionen um Teilchen der zweiten (instabilen) Leptonen Generation. Das Myon zerfällt dabei gemäß 2.3 und 2.4

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_\mu + \nu_e \quad (2.3)$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu \quad (2.4)$$

Bei dem Zerfall des μ^- ist zu beachten, dass neben dem Zerfall noch die Möglichkeit besteht, daß das Myon sich mit einem Atom verbindet. Infolgedessen entsteht dann ein *hochangeregtes myonisches Atom*. Die Wahrscheinlichkeit für diesen Prozess ist jedoch geringer als der Zerfall.

Tabelle 2.2 listet noch einmal einige wichtige physikalische Eigenschaften des Myons³ auf.

Ladung	$-e = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Ruhemasse m_0	$206,77 m_e = 1,883 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$
Ruheenergie	$105,7 \text{ MeV}$
Magnetisches Moment $\vec{\mu}_\mu$	$4,49 \text{ J/T}$
Lebensdauer τ	$2,2 \text{ }\mu\text{s}$

Tabelle 2.2.: Physikalische Eigenschaften des Myons

2.4. Definition der Lebensdauer

Der Zerfall instabiler Teilchen ist ein statistisch verteilter Prozess, da jedes Teilchen eine individuelle Lebensdauer haben kann. Interessant ist daher, eine charakteristische Größe zu bestimmen, die es möglich macht, eine Aussage über das Mittel aller Teilchen zu geben. Im infinitesimalen Bereich ist die Wahrscheinlichkeit dW des Zerfalls proportional zum Beobachtungszeitraum dt , wobei λ eine später noch erklärte Konstante ist

$$dW = \lambda dt \quad (2.5)$$

Da nun Teilchen unabhängig voneinander zerfallen und die Zerfallswahrscheinlichkeit nicht vom Alter des Teilchens abhängt, ergibt sich weiter aus (2.5) für die Zahl dN der im Zeitintervall dt zerfallenen Teilchen

³Quelle: <https://pdg.lbl.gov/>

$$dN = -NdW = -\lambda N dt \quad (2.6)$$

Wenn N eine sehr große Zahl ist, wovon hier auszugehen ist, dann lässt sich 2.6 näherungsweise integrieren. Bildet man zusätzlich daraus die Verteilungsfunktion der Lebensdauer t , so ergibt sie sich zu

$$\frac{dN(t)}{N_0} = \lambda e^{-\lambda t} dt \quad (2.7)$$

der Exponential-Verteilung mit der Gesamtzahl der betrachteten Teilchen N_0 . Um nun die charakteristische Lebensdauer τ zu erhalten, muss man den Mittelwert aller möglichen Lebensdauern t bilden, und erhält schließlich

$$\tau = \int_0^{\infty} \lambda t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.8)$$

Hier zeigt sich nun also, dass die Lebensdauer reziprok zur eingeführten Größe λ ist, der sogenannten Zerfallskonstante.

3. Durchführung

3.1. Allgemein

Um die eintreffenden Myonen zu registrieren verwendet man einen *Szintillationstank* in dem eintreffende Myonen einen Lichtblitz erzeugen. Dieser wird daraufhin durch *Sekundärelektronenvervielfacher (SEV)* in einen messbaren Strom umgewandelt (Photoeffekt) und verstärkt. Der Spannungspuls wird nun als Eingangssignal für eine Messschaltung verwendet, die zur weiteren Verarbeitung der Signale dient.

3.2. Szintillator

Der Szintillationsdetektor besteht aus einem Tank mit ca. 50 l Volumen, der in seinem inneren mit einem organischen, gelösten Szintillat gefüllt ist.

Trifft ein Myon auf dieses Material, versetzt es einige der Szintillatormoleküle in angeregte Zustände die letztendlich dazu führen, dass bei Rückkehr in den Grundzustand Photonen emittiert werden. Diese liegen dabei im sichtbaren oder nahen UV Bereich des Spektrums.

Neben dem Eintritt des Myons in den Szintillator Tank erzeugt auch dessen Zerfall einen Lichtblitz. Die Dauer zwischen Eintritt und Zerfall ist dabei gerade die individuelle Lebensdauer eines Myons. Der Szintillationsdetektor eignet sich somit zur Bestimmung der Myonen Lebensdauer.

3.3. Sekundärelektronenvervielfacher (SEV)

Durch die geringen Energien der Lichtimpulse ist es nötig, diese weiter zu verstärken, um sie weiter analysieren zu können.

Zu diesem Zweck treffen die Photonen zunächst auf eine photosensitive Schicht, aus der sie einzelne Elektronen auslösen. Durch Anlegen einer Hochspannung werden sie nun innerhalb des SEV zu einer Dynode hin beschleunigt. Durch das Auftreffen auf die Dynode werden dort wiederum neue Elektronen ausgelöst. Da die Elektronen vorher erheblich beschleunigt wurden, werden diesmal wesentlich mehr Elektronen ausgelöst.

Dieser Vorgang wird nun mehrfach wiederholt bis man Spannungspulse ausreichender Amplitude¹ erhält.

¹Die Verstärkung der SEVs beträgt dabei typischerweise etwa die Größenordnungen 10^6 bis 10^8

3.4. Versuchselektronik

3.4.1. Prinzip

Abbildung 3.1 auf der nächsten Seite zeigt das Blockschaltbild der verwendeten Schaltung.

Die Bauteile der Schaltung arbeiten nach NIM-Standard. Ein High-Pegel (logisch 1) entspricht -800 mV und ein Low-Pegel (logisch 0) einer Spannung von 0 V. Passiert ein Signal die Koinzidenzschaltung (s.u.) wird es zunächst als Stoppsignal registriert und (nach kurzer Verzögerung) die monostabile Kippstufe angestoßen. Diese ändert somit den Pegel an ihrem Ausgang und auch die Pegel an jeweils einem der Eingänge der AND-Gatter wechseln. Somit wird das nächste Signal nicht als START sondern als STOP Signal interpretiert. Die Zeit für die das Signale als STOP registriert wird, wird dabei am Univibrator eingestellt und ist die Suchzeit T_S . Die Signale gelangen zu einem TAC², der den zeitlichen Abstand von START und STOP Impuls in einen dazu proportionalen Spannungspuls wandelt, der dann im VKA³ registriert wird. Der VKA verfügt über 512 nutzbare Kanäle, in die Spannungsimpulse je nach Amplitude "einsortiert" werden.

3.4.2. Berücksichtigung von Fehlerquellen

Die SEVs neigen bedingt durch die endliche Temperatur dazu spontan Elektronen zu emittieren. Somit beobachtet man Spannungspulse, obwohl kein Myon in den Tank eingetreten ist.

Um diese Störung zu unterbinden, installiert man hinter den SEVs Diskriminatorstufen, die die Spannungspulse erst ab einer bestimmten Impulshöhe weitergeben und zudem direkt an ihrem Ausgang NIM-kompatible Spannungen erzeugen.

Da allerdings auch zufällig Signale mit einer Amplitude auftreten können, die einem Myon-Einfall entsprechen, verwendet man zwei SEVs. Da die Elektronenemission unkorreliert ist, ist es unwahrscheinlich, dass beide SEVs zeitgleich einen Impuls liefern. Die durch Myonen entstehenden Impulse hingegen beobachtet man nahezu gleichzeitig (Verzögerungen im Bereich weniger nano Sekunden) an beiden SEVs. Die nach den Diskriminatoren installierte Koinzidenzschaltung reicht die Impulse nun nur noch dann an die restliche Elektronik weiter, wenn das Signal an beiden SEVs gleichzeitig auftrat.

Nicht durch die Versuchselektronik ausgeglichen werden, dass das Eintreffen von zwei Myonen innerhalb der Suchzeit eine Fehlmessung erzeugt. Dadurch werden insgesamt mehr Counts registriert als tatsächlich Myonen eintreffen. Dieses Phänomen bezeichnet man als *Untergrundrate* U die in der Auswertung statistisch berücksichtigt wird.

²Time-Amplitude-Converter

³Vielkanalanalysator

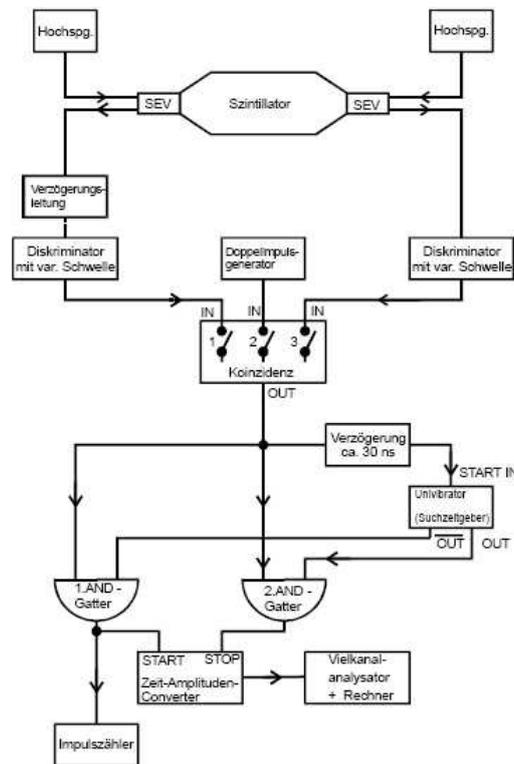


Abbildung 3.1.: Blockschaltbild der Messapparatur

3.4.3. Justage

Wichtig für die korrekte Funktion der Messelektronik ist eine sorgfältige Justage. Zunächst muß berücksichtigt werden, das die beiden SEVs verschiedene elektrische Eigenschaften besitzen. Dies wird durch eine variable Verzögerungsleitung an einem der beiden SEVs sowie die einstellbaren Diskriminatoren ausgeglichen. Diese werden solange eingeregelt bis man eine Zählrate von 20 bis 40 Myonen hinter dem jeweiligen Diskriminator messen kann.

Daraufhin wird die Koinzidenzappatur eingeregelt und die maximale Suchzeit am Univibrator eingestellt.

Weiterhin wird eine Kalibrierungsmessung mittels eines Doppelimpulsgenerator an dem Vielkanalanalysator durchgeführt. Dabei ist zu beachten, dass die Einstellungen (u.a. am TAC und Univibrator) so gewählt sind, dass möglichst viele der Kanäle des VKA asugenutzt werden. Also beim Durchfahren aller $t < t_S$ sollte das letzte t , das diese Bedingung gerade noch erfüllt, möglichst in einen der letzten der 512 Kanäle eingelsen werden.

4. Auswertung

4.1. Allgemein

Die Gesamtmessdauer betrug $t_{mess} = 85234 \text{ s}$ ¹. Während dieser Zeit wurden $N_{start} = 1782089$ Startsignale registriert. In der Messzeit wurden dabei $N_{stop} = 6816$ Stoppsignale registriert. Die Summation der Counts, die zum VKA gelangt zeigt $N_{mess} = 6306$ Ereignisse. Dabei wurden Messwerte in insgesamt 487 Kanäle eingelesen². Die Suchzeit betrug $10 \text{ }\mu\text{s}$

4.2. Bestimmung der Untergrundrate

Zur Berechnung der Untergrundrate bestimmt man die durchschnittliche Anzahl an Myonen, die in einer Sekunde in den Tank eintreffen

$$f = \frac{N_{start}}{t_{mess}} = 20,91 \text{ myonen/s}$$

Die Wahrscheinlichkeit, das genau ein weiteres Myon innerhalb von T_S in den Tank eintitt (und somit eine Fehlmessung auslöst) ist Poisson verteilt und berechnet sich nach

$$P_{T_S \cdot f}(k) = \frac{(T_S \cdot f)^k}{k!} e^{-f \cdot T_S}$$

mit $k = 1$ (Wahrscheinlichkeit für exakt 1 Myon) folgt

$$P_{T_S \cdot f}(1) = T_S \cdot f e^{-f \cdot T_S} = 0,021\%$$

Über die Anzahl der Startimpulse und der Wahrscheinlichkeit ergibt sich somit eine Anzahl Fehlmessungen

$$N_{Fehler} = P_{T_S \cdot f}(1) \cdot N_{Start} = 372,68$$

Dividiert durch die Kanalanzahl liefert dies eine Untergrundrate

$$U = 0,77 \text{ counts/kanal}$$

¹Dies entspricht ca. 23,75 h

²Kanäle die keine Counts enthielten und sich auch nicht "zwischen" gefüllten Kanaälen befanden wurden ignoriert

Kanal	T(μs)	Kanal	T(μs)
24	0,5	306	6,0
50	1,0	332	6,5
76	1,5	358	7,0
101	2,0	383	7,5
127	2,5	409	8,0
153	3,0	434	8,5
178	3,5	460	9,0
204	4,0	485	9,5
230	4,5	496	9,7
255	5,0		
281	5,5		

Tabelle 4.1.: Messwerte zur Kalibrierung des VKA

4.3. Kalibrierung des VKA

Zur Kalibrierung der Zeitachse des VKA gibt man Doppelimpulse variablen Zeitabstandes T auf die Schaltung und beobachtet, in welchen Kanal sie eingelesen werden. In Tabelle 4.1 sind die aufgenommenen Messwerte festgehalten. Eine anschließende lineare Regression (vgl. Abbildung 4.1 auf der nächsten Seite) liefert den gesuchten Zusammenhang zwischen Kanalnummer und Zeitabstand des Doppelpulses.

$$t = (0,01952 \pm 0,00001) \text{ Kanal} \cdot \mu\text{s} + (0,02157 \pm 0,00309) \mu\text{s}$$

Zur weiteren Auswertung wird allerdings nur die Breite (Steigung) des Kanals benötigt.

4.4. Bestimmung der Myonen-Lebensdauer

Aus den gewonnenen Messwertepaaren³ von Kanalnummer und Counts werden zunächst über die bereits durchgeführte Kalibrierung des VKA die Wertepaare Lebensdauer und Counts bestimmt.

Mit diesen erfolgt eine Regression der Funktion (für U wurde der bereits berechnete Wert verwendet)

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} + U \quad (4.1)$$

Die Messwerte sowie die angepasste Funktion sind in Abbildung 4.4 auf Seite 13 zu finden.

³siehe Anhang

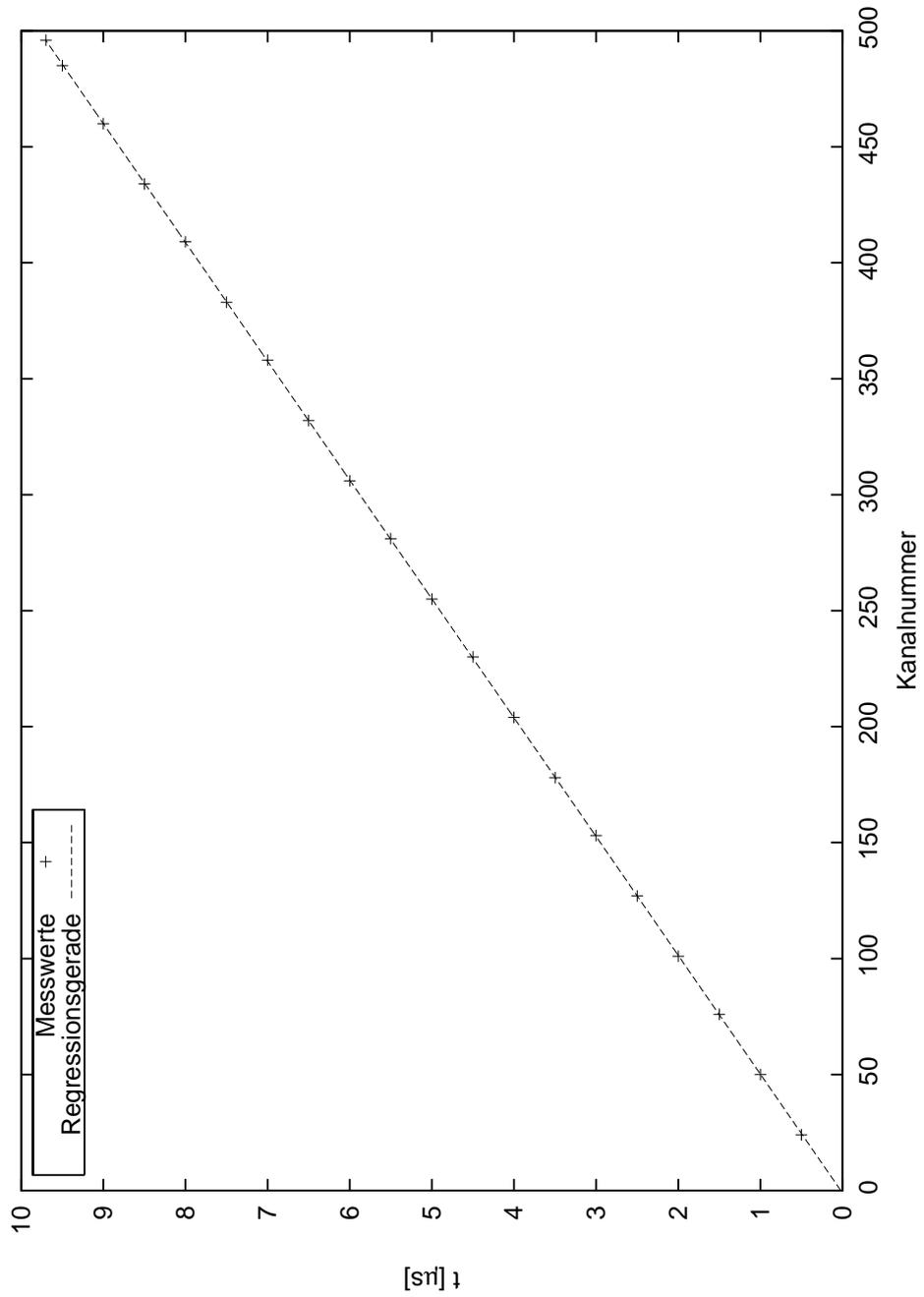


Abbildung 4.1.: Kalibrierung des VKA

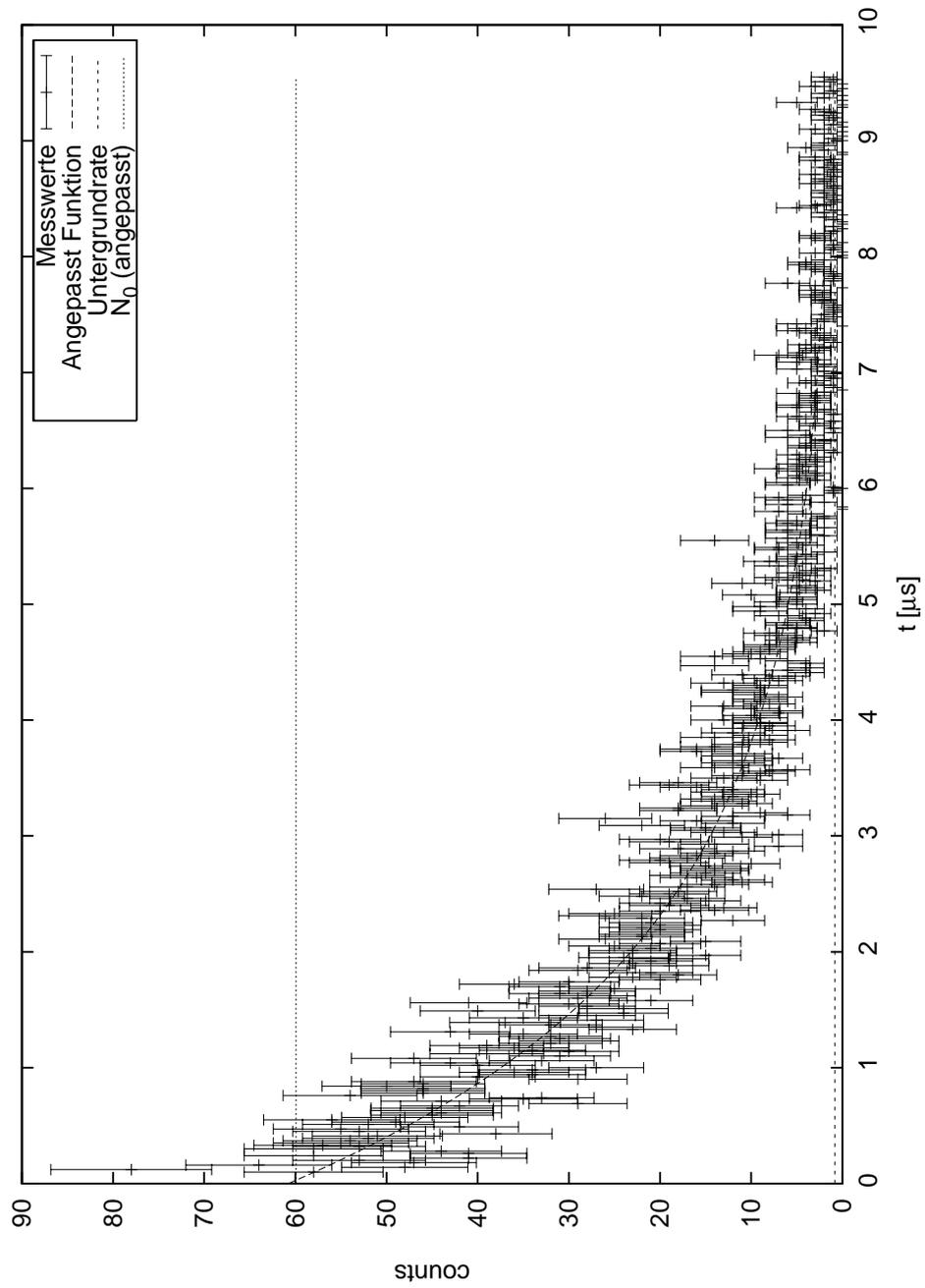


Abbildung 4.2.: Zählrate (counts) in Abhängigkeit der Individuallebensdauer

Aus der Regression ergeben sich die Parameter

$$N_0 = (59,95 \pm 0,78)$$

$$\lambda = (0,49 \pm 0,01) 1/\mu\text{s}$$

Somit ergibt sich

$$\tau = 1/\lambda = (2,04 \pm 0,06) \mu\text{s}$$

Der Literaturwert⁴ für die Myonen-Lebensdauer beträgt $2,2 \mu\text{s}$. Die Messergebnisse liegen zwar in der gleichen Größenordnung weichen aber um ca. 7% voneinander ab, was ausserhalb der berechneten Fehlergrenzen liegt.

4.5. Statistische Überprüfung des Ergebnisses

Mithilfe eines χ^2 Tests werden die Messergebnisse überprüft.

Dazu werden zunächst Kanäle, die keinerlei Ereignisse registrierten mit Counts aus den Nachbarkanälen aufgefüllt. Diese Auffüllung (wenige einzelne Counts) ist gering gegenüber der Gesamtzahl der Counts und stellt keine erhebliche Fehlerquelle da. Nach der Formel

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(N_0 e^{-\lambda t} + U - N_i)^2}{N_i}$$

wird das χ^2 berechnet. Dieses sollte im Fall optimal angepasster Parameter der Zahl der Kanäle entsprechen.

Tatsächlich erhalten wir

$$\chi^2 = 496,99$$

Somit ist es sehr wahrscheinlich, dass die Parameter vernünftige Werte darstellen. Dies bestätigt auch ein mittels dem Programm OpenOffice durchgeführter χ^2 -Test über den Messwerten, der berechnet wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass die Messdaten mit der hypothetischen Verteilungsfunktion übereinstimmen.

Dieser χ^2 -Test liefert eine Wahrscheinlichkeit von nahezu exakt 100%, dass die beobachtete Myonen-Lebensdauer der angepassten Exponentialverteilung aus 4.4 entspricht.

4.6. Fehlerbetrachtung

Wie bereits angesprochen beobachtet man eine deutliche Abweichung von ca. 7% vom Literaturwert. Die Ursachen für diese Abweichung können unter anderem bei der

⁴Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/myonen>

Schaltung liegen, die offensichtlich einige der Messungen nicht im Vielkanalanalysator registrierte. Auch die Anti-Myonen die sich mit den Szintillator-Atomen zu einem angeregten myonischen Atom verbinden, stellen eine Fehlerquelle da. Auch ist sicherlich die Kalibrierung des VKA fehlerhaft, da meistens nicht nur in einen sonder 2 oder 3 Kanäle eingelsen wurde. In diesem Fall wurde für die Kalibrierung der Kanal mit der höchsten Anzahl an Counts verwendet.

A. Messwerte

K	C	K	C	K	C	K	C	K	C	K	C	K	C
0	0	79	30	158	22	237	8	314	3	393	3	472	2
1	0	80	41	159	12	238	8	315	5	394	2	473	1
2	0	81	21	160	16	237	8	316	7	395	3	474	2
3	0	82	29	161	26	238	8	317	4	396	0	475	3
4	0	83	28	162	12	239	5	318	5	397	3	476	0
5	58	84	31	163	6	240	6	319	3	398	6	477	0
6	78	85	28	164	9	241	5	320	4	399	1	478	5
7	48	86	25	165	18	242	7	321	3	400	1	479	0
8	64	87	31	166	18	243	8	322	5	401	1	480	2
9	47	88	36	167	14	244	2	323	1	402	1	481	0
10	53	89	30	168	11	245	5	324	2	403	2	482	2
11	41	90	20	169	13	246	5	325	4	404	3	483	1
12	58	91	23	170	14	247	6	326	4	405	3	484	0
13	41	92	18	171	12	248	6	327	3	406	4	485	3
14	44	93	21	172	10	249	4	328	2	407	4	486	0
15	58	94	29	173	13	250	4	329	2	408	2	487	2
16	53	95	28	174	12	251	7	330	6	409	0	488	1
17	57	96	19	175	16	252	3	331	4	410	0	489	2
18	55	97	23	176	19	253	9	332	1	411	3		
19	54	98	21	177	18	254	4	333	6	412	0		
20	52	99	19	178	9	255	9	334	1	413	1		
21	51	100	24	179	13	256	5	335	3	414	1		
22	38	101	15	180	11	257	7	336	3	415	1		
23	53	102	23	181	9	258	5	337	1	416	0		
24	55	103	23	182	8	259	5	338	4	417	2		
25	42	104	21	183	6	260	10	339	5	418	3		
26	52	105	25	184	14	261	5	340	1	419	3		
27	49	106	20	185	11	262	3	341	3	420	2		
28	56	107	15	186	12	263	4	342	2	421	1		
29	48	108	26	187	11	264	5	343	5	422	0		
30	45	109	22	188	7	265	11	344	5	423	1		

31	44	110	22	189	12	266	3	345	3	424	0	
32	45	111	21	190	11	267	6	346	3	425	0	
33	45	112	20	191	16	268	7	347	3	426	1	
34	42	113	22	192	16	269	4	348	3	427	2	
35	29	114	20	193	14	270	5	349	5	428	0	
36	44	115	21	194	11	271	3	350	2	429	2	
37	35	116	12	195	9	272	2	351	0	430	1	
38	33	117	22	196	8	273	7	352	1	431	5	
39	54	118	26	197	14	274	4	353	2	432	3	
40	46	119	25	198	9	275	8	354	4	433	2	
41	46	120	20	199	12	276	5	355	3	434	1	
42	46	121	14	200	6	277	5	356	1	435	1	
43	50	122	13	201	11	278	4	357	2	436	2	
44	46	123	19	202	8	279	2	358	1	437	1	
45	47	124	20	203	9	280	7	359	2	438	2	
46	29	125	15	204	9	281	7	360	5	439	2	
47	40	126	17	205	13	282	4	361	2	440	1	
48	34	127	22	206	9	283	5	362	2	441	1	
49	36	128	19	207	10	284	14	363	5	442	3	
50	34	129	18	208	7	285	6	364	3	443	2	
51	27	130	27	209	7	286	2	365	5	444	2	
52	40	131	17	210	10	287	4	366	7	445	1	
53	43	132	14	211	13	288	6	367	4	446	3	
54	33	133	11	212	8	289	6	368	3	447	1	
55	47	134	12	213	9	290	2	369	3	448	1	
56	31	135	16	214	9	291	5	370	2	449	2	
57	39	136	17	215	7	292	6	371	4	450	1	
58	30	137	15	216	9	293	5	372	1	451	1	
59	34	138	14	217	12	294	2	373	2	452	3	
60	36	139	14	218	12	295	2	374	2	453	1	
61	39	140	15	219	9	296	4	375	2	454	3	
62	32	141	10	220	9	297	7	376	3	455	0	
63	30	142	19	221	13	298	0	377	5	456	0	
64	31	143	20	222	7	299	0	378	4	457	2	
65	32	144	17	223	8	300	6	379	0	458	4	
66	35	145	16	224	6	301	2	380	5	459	2	
67	43	146	14	225	11	302	6	381	2	460	2	

68	23	147	12	226	4	303	7	382	2	461	0	
69	27	148	18	227	6	304	4	383	1	462	1	
70	32	149	7	228	4	305	1	384	2	463	0	
71	37	150	14	229	14	306	1	385	1	464	2	
72	27	151	19	230	4	307	0	386	1	465	0	
73	35	152	20	231	6	308	1	387	1	466	3	
74	28	153	11	232	9	309	6	388	1	467	0	
75	24	154	7	233	14	310	6	389	2	468	1	
76	40	155	13	234	10	311	3	390	2	469	0	
77	24	156	15	235	9	312	5	391	2	470	2	
78	28	157	15	236	8	313	4	392	3	471	1	

Tabelle A.1.: Messwerte (K = Kanal; C = Counts)