

V702

Aktivierung mit Neutronen

Samuel Haefs

samuel.haefs@tu-dortmund.de

Max Koch

max.koch@tu-dortmund.de

Durchführung: -

Abgabe: -

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
3	Durchführung	4
3.1	Erzeugung von Neutronen	5
3.2	Aufbau zur Messung der Halbwertszeit	5
3.3	Messung zur Halbwertszeit von Vanadium	6
3.4	Messung zur Halbwertszeit von Rhodium	6
4	Auswertung	6
4.1	Bestimmung der Untergrundrate	6
4.2	Bestimmung der Halbwertszeit von Vanadium	6
4.3	Bestimmung der Halbwertszeit von Rhodium	9
5	Diskussion	12
	Literatur	12

1 Zielsetzung

Ziel des Versuches soll sein, die Halbwertszeit verschiedener Stoffe zu bestimmen. Die dafür benötigten radioaktiven Stoffe werden mithilfe von Neutronen erzeugt. Diese wirken auf stabile Kerne ein und starten so den Zerfallsprozess.

2 Theorie

Atome Kerne die ein unausgeglichenes Verhältnis zwischen Protonen und Neutronen aufweisen, zerfallen nach einem gewissen Zeitraum. Dieser hängt vom Atom ab. Die Zeit, bis zu der das instabile Atom zerfällt kann mit der Halbwertszeit T beschrieben werden. Diese gibt an wie viel Zeit vergeht bis die Hälfte des Stoffes N_0 zerfallen ist. Die Zeit welche vergeht bis nur noch die Hälfte des Stoffes vorhanden ist kann dabei durch

$$\frac{1}{2}N_0 = N_0 e^{-\lambda t}$$

berechnet werden. λ ist hier die Zerfallskonstante des Isotops. Daraus folgt die Halbwertszeit T mit

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}. \quad (1)$$

Die Halbwertszeit verschiedener Stoffe variiert sehr stark, in diesem Versuch sollen nur Methoden besprochen werden, um Halbwertszeiten im Bereich von Sekunden und Minuten zu bestimmen.

Da diese Stoffe schnell zerfallen werden sie erst kurz vor der Messung hergestellt. Hierfür werden die stabilen Atome mit Neutronen aus einer Neutronenquelle beschossen. Durch das zusätzliche Neutron befinden sich die Atome nun im instabilen Zustand und zerfallen schließlich. Der Zerfall findet dabei, in diesem Versuch immer in Form eines β - oder γ -Zerfalls statt. Die Neutronen sollten dabei eine möglichst geringe Energie haben. Denn die Resonanzabsorption des Atoms findet genau dann statt wenn das Neutronen, genau die Energie aufweist, die der Differenz zweier Energieniveaus des Zwischenkerns entspricht. Diese ist entsprechend klein, weswegen die Neutronen erst gebremst werden müssen bevor sie auf das Atom geschossen werden. Wie diese thermischen Neutronen erzeugt werden, wird im Abschnitt 3 ausführlich erklärt.

Da es äußerst Schwierig ist die Stoffmenge N zuverlässig im Verlauf des Zerfalls zu bestimmen wird eine Methode genutzt, welche sich durch das Messen der abgegebene Strahlung realisieren lässt. Dafür müssen nur die in einem Zeitintervall Δt zerfallenen Kerne $N_{\Delta t}(t)$ gemessen werden. Mithilfe der Gleichung

$$\ln N_{\Delta t}(t) = \ln N_0(1 - e^{-\lambda \Delta t}) - \lambda t \quad (2)$$

lässt sich durch eine lineare Ausgleichsrechnung anschließend λ bestimmen, welches zur Bestimmung der Halbwertszeit benötigt wird.

Wenn nun aber das Isotop in zwei verschiedene Isotope zerfällt überlagern sich die Strahlungsmuster beider Isotope miteinander. Eine schematische Darstellung, einer Zerfallskurve, zweier Isotope mit unterschiedlichen Zerfallskonstanten λ ist in Abbildung 1 zu finden. Wie zu sehen ist erschwert dies die Ermittlung der beiden Halbwertszeiten. In diesem Fall muss zunächst die Halbwertszeit des langlebigen Isotops bestimmt werden.

Dies geschieht indem nur die Werte betrachtet werden, die nach dem Zeitpunkt t^* aufgenommen wurden. Diese Werte werden für eine lineare Ausgleichsrechnung genutzt, wodurch eine Annäherung des Zerfalls des langsam zerfallenden Isotops gemacht wird. Die ermittelte Gleichung wird genutzt um, die Zerfallskonstante λ_1 des schnell zerfallenden Isotops zu berechnen. Zusätzlich können mithilfe einer Extrapolation, die Werte des langsam zerfallenden Isotops von den aufgenommenen Messwerten abgezogen werden. Mit den so berechneten Werten wird eine weitere Ausgleichsrechnung angefertigt mit der die Zerfallskonstante λ_2 des schnell zerfallenden Isotops bestimmt wird. Nun kann mit den Zerfallskonstanten die Halbwertszeit der beiden Isotope berechnet werden.

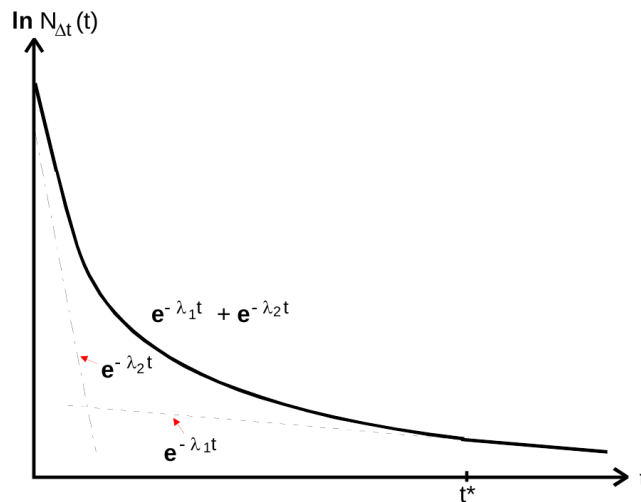


Abbildung 1: Der Zerfall zwei verschiedener Isotope mit unterschiedlichen Halbwertszeiten. Entnommen aus Quelle [1].

3 Durchführung

Da die in diesem Versuch untersuchten Stoffe alle eine geringe Halbwertszeit im Bereich von Sekunden bis Stunden haben, werden die Atome erst kurz vor dem Versuch erzeugt. Dies geschieht indem sie mit Neutronen beschossen werden.

3.1 Erzeugung von Neutronen

Für den Versuch wird eine Neutronen Quelle benötigt. Diese besteht aus ${}^9_4\text{Be}$ -Kernen welche mit α -Teilchen beschossen werden. Hierdurch entsteht ein ${}^{12}_6\text{C}$ Kern sowie ein Neutron. Die α -Teilchen stammen dabei aus dem Zerfall von ${}^{226}\text{Ra}$ -Kernen. Da der beste Effekt erzielt wird wenn die Neutronen eine geringe Geschwindigkeit aufweisen, werden diese gebremst. Dafür wird die Neutronen Quelle in eine Kammer aus Paraffin gesetzt. Ein Querschnitt dieses Aufbaus ist in Abbildung 2 zu sehen. Durch mehrfache Stöße des Neutronen mit dem Paraffin bremst dieses schließlich bis zu einer Energie ab die der mittleren kinetischen Energie der Moleküle in dessen Umgebung entspricht. So haben die Neutronen eine mittlere Geschwindigkeit von $2.2 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. Diese Neutronen werden als thermische Neutronen bezeichnet.

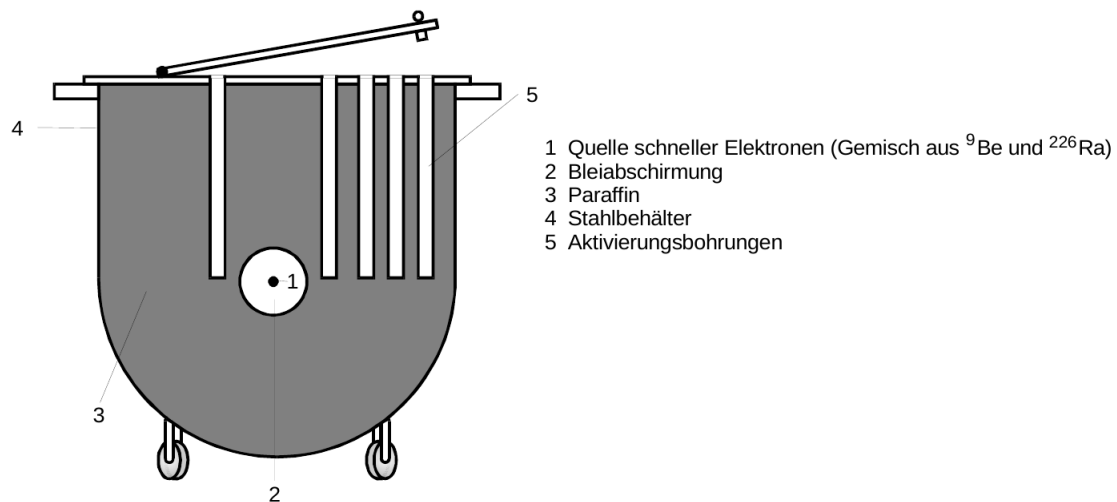


Abbildung 2: Der Querschnitt des Aufbaus zur Erzeugung thermischer Neutronen.
Abbildung aus Quelle [1] entnommen.

3.2 Aufbau zur Messung der Halbwertszeit

Die erzeugten Neutronen werden nun auf Atome geschossen. Durch das zusätzliche Neutron werden diese instabil wodurch sie letztendlich zerfallen. Der Zerfall wird durch ein Geiger-Müller-Zählrohr registriert. Dieses gibt das Signal an einen von zwei Zählern weiter. Die beiden Zähler wechseln periodisch. So kann die Anzahl der Zerfälle, die der eine Zähler in einem Zeitintervall gemessen hat, einfach abgelesen werden, während der andere Zähler bereits die nächste Messung aufnimmt. Die Probe mit dem Geiger-Müller-Zählrohr befindet sich in einer Bleiummantelung um den Effekt der natürlichen Strahlung möglichst gering zu halten.

Um weiterhin den Nulleffekt der natürlichen Strahlung zu verringern wird zunächst eine Messung ohne Probe vorgenommen. Dafür wird in einem Zeitintervall von $\Delta t = 300\text{s}$

die Anzahl der Zerfälle N_U gemessen. Diese Messung wird sieben mal wiederholt um eine möglichst kleine Beeinflussung zu erzielen.

3.3 Messung zur Halbwertszeit von Vanadium

Nachdem die Untergrundrate N_U bestimmt wurde, wird mit der Messung einer Vanadium Probe begonnen. Dafür wird die Vanadium Probe, direkt nachdem diese in der Neutronenquelle aktiviert wurde, in die Bleiummantelung gesetzt. Das Messintervall zur Messung der Zerfälle wird hier auf $\Delta t = 30\text{s}$ gesetzt. Die Messung wird bis zur einschließlich 42. Messung wiederholt.

3.4 Messung zur Halbwertszeit von Rhodium

Die Messung läuft ähnlich zur Messung von Vanadium ab. Dieses mal wird allerdings das Messintervall auf $\Delta t = 15\text{s}$ verringert. Auch hier wird die Messung bis zur 42. Messung wiederholt.

4 Auswertung

4.1 Bestimmung der Untergrundrate

In Tab. 1 befinden sich die Messwerte zur Bestimmung der Untergrundrate N_U . Das Messintervall beträgt $\Delta t = 300\text{s}$. Im Mittel ergibt sich eine Untergrundrate N_U von

t / s	$N_U / \frac{\text{Imp}}{300\text{s}}$
300	129
600	143
900	144
1200	136
1600	139
2000	126
2400	158

Tabelle 1: Die Untergrundrate gemessen in einem Zeitintervall von 300 s.

$$N_U = (139 \pm 4) \frac{\text{Imp}}{300\text{s}}. \quad (3)$$

4.2 Bestimmung der Halbwertszeit von Vanadium

Die gemessenen Impulse für die Vanadiumprobe N_V in Tab. 2 haben den Fehler $\Delta N_V = \sqrt{N_V}$. Zunächst muss die Untergrundrate an das Zeitintervall $\Delta t = 30\text{s}$ angepasst werden

$$N_U = (13,9 \pm 0,4) \frac{\text{Imp}}{30\text{s}} \quad (4)$$

und im Anschluss von den gemessenen Impulsen abgezogen werden (N_{dif} in Tab. 2). Eine

t / s	$N_V / \frac{\text{Imp}}{30s}$	$N_{dif} / \frac{\text{Imp}}{30s}$	t / s	$N_V / \frac{\text{Imp}}{30s}$	$N_{dif} / \frac{\text{Imp}}{30s}$
30	189	175 ± 14	690	35	21 ± 6
60	197	183 ± 14	720	19	5 ± 4
90	150	136 ± 12	750	28	14 ± 5
120	159	145 ± 13	780	27	13 ± 5
150	155	141 ± 12	810	36	22 ± 6
180	132	118 ± 11	840	25	11 ± 5
210	117	103 ± 11	870	29	15 ± 5
240	107	93 ± 10	900	18	4 ± 4
270	94	80 ± 10	930	17	3 ± 4
300	100	86 ± 10	960	24	10 ± 5
330	79	65 ± 9	990	21	7 ± 5
360	69	55 ± 8	1020	25	11 ± 5
390	81	67 ± 9	1050	21	7 ± 5
420	46	32 ± 7	1080	24	10 ± 5
450	49	35 ± 7	1110	25	11 ± 5
480	61	47 ± 8	1140	17	3 ± 4
510	56	42 ± 7	1170	20	6 ± 4
540	40	26 ± 6	1200	19	5 ± 4
570	45	31 ± 7	1230	20	6 ± 4
600	32	18 ± 6	1260	18	4 ± 4
630	27	13 ± 5	1290	16	2 ± 4
660	43	29 ± 7	1320	17	3 ± 4

Tabelle 2: Zerfallsrate von Vanadium gemessen in einem Zeitintervall von 30 s.

lineare Ausgleichsrechnung nach (2)

$$\ln N_{dif} = -\lambda \cdot t + b$$

ergibt folgende Parameter:

$$\lambda = (0,003\,23 \pm 0,000\,11) \frac{1}{s}$$

$$b = 5,32 \pm 0,04$$

Die gemessenen Impulse nach Abzug der Untergrundrate N_{dif} mit zugehörigem Fehler und die Ausgleichsgerade sind in dem halblogarithmischen Diagramm (Abb. 3) graphisch dargestellt. Aus dem λ folgt sofort die Halbwertszeit (1)

$$T = (215 \pm 7) s \quad (5)$$

für Vanadium. Eine weitere lineare Ausgleichsrechnung mit Werten bis zur doppelten Halbwertszeit ergibt keine genaueren Ergebnisse.

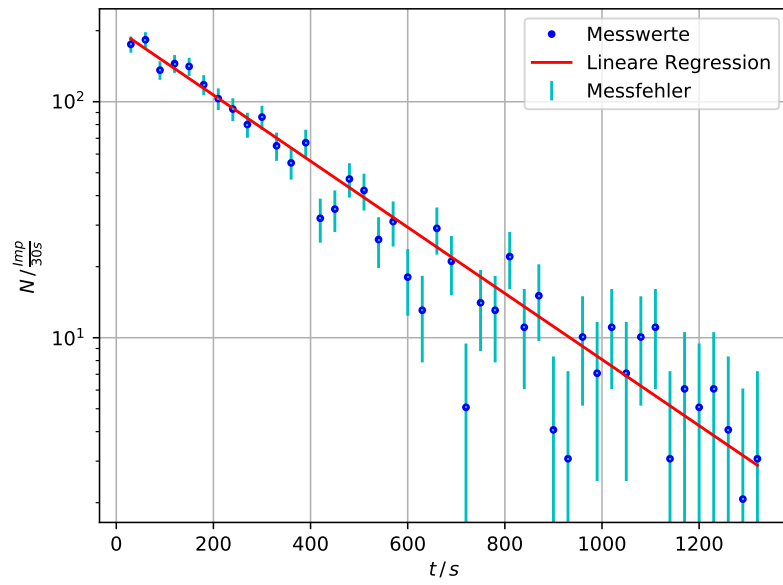


Abbildung 3: Die gemessenen Impulse N_V (Vanadium) mit zugehörigem Fehler in Abhängigkeit von der Zeit t in einem halblogarithmischen Diagramm dargestellt. Zu den Messwerten wird eine lineare Ausgleichsrechnung durchgeführt. [2] [6] [4] [5]

4.3 Bestimmung der Halbwertszeit von Rhodium

Die Messintervalle für die Rhodiumprobe betragen $\Delta t = 15$ s. Der Messfehler der Impulsrate der Rhodiumprobe N_{Rh} wird nach $\Delta N_{Rh} = \sqrt{N_{Rh}}$ berechnet. Die Untergrundrate angepasst an das Zeitintervall beträgt

$$N_U = (6,96 \pm 0,20) \frac{\text{Imp}}{15\text{s}}.$$

Diese wird von den gemessenen Impulsen der Rhodiumprobe N_{Rh} subtrahiert und als N_{dif} bezeichnet. Die gemessenen Werte und die angepassten Messwerte befinden sich in Tab. 3. Ab $t = 270$ s ist nur der langsame Zerfall zu beobachten (siehe Abb. 4). Eine

t / s	$N_{Rh} / \frac{\text{Imp}}{15\text{s}}$	$N_{dif} / \frac{\text{Imp}}{15\text{s}}$	t / s	$N_{Rh} / \frac{\text{Imp}}{15\text{s}}$	$N_{dif} / \frac{\text{Imp}}{15\text{s}}$
15	667	660 ± 26	345	36	29 ± 6
30	585	578 ± 24	360	38	31 ± 6
45	474	467 ± 22	375	34	27 ± 6
60	399	392 ± 20	390	40	33 ± 6
75	304	297 ± 17	405	21	14 ± 5
90	253	246 ± 16	420	35	28 ± 6
105	213	206 ± 15	435	33	26 ± 6
120	173	166 ± 13	450	36	29 ± 6
135	152	145 ± 12	465	20	13 ± 4
150	126	119 ± 11	480	24	17 ± 5
165	111	104 ± 11	495	30	23 ± 5
180	92	85 ± 10	510	30	23 ± 5
195	79	72 ± 9	525	26	19 ± 5
210	74	67 ± 9	540	28	21 ± 5
225	60	53 ± 8	555	23	16 ± 5
240	52	45 ± 7	570	20	13 ± 4
255	56	49 ± 7	585	28	21 ± 5
270	53	46 ± 7	600	17	10 ± 4
285	41	34 ± 6	615	26	19 ± 5
300	36	29 ± 6	630	19	12 ± 4
315	37	30 ± 6	645	13	6 ± 4
330	32	25 ± 6	660	17	10 ± 4

Tabelle 3: Zerfallsrate von Rhodium gemessen in einem Zeitintervall von 15 s.

lineare Ausgleichsrechnung für den langsamen Zerfall ($t \geq 270$ s)

$$\ln N_{dif} = -\lambda \cdot t + b \quad (6)$$

ergibt folgende Parameter:

$$\lambda_{\text{slow}} = (0,0027 \pm 0,0004) \frac{1}{\text{s}}$$

$$b_{\text{slow}} = 4,35 \pm 0,17$$

Die Halbwertszeit (1) für den langsamen Zerfall beträgt

$$T_{\text{slow}} = (257 \pm 37) \text{ s}.$$

Zur Bestimmung des schnellen Zerfalls wird $t \leq 210 \text{ s}$ betrachtet. Zuerst muss der langsame Zerfall von den Messwerten ($t \leq 210 \text{ s}$) abgezogen werden

$$N_{\text{fast}}(t) = N_{\text{dif}}(t) - (-\lambda_{\text{slow}} \cdot t + b_{\text{slow}}). \quad (7)$$

Der langsame Zerfall wird durch die Geradengleichung mit den berechneten Parametern $\lambda_{\text{slow}}, b_{\text{slow}}$ beschrieben. Die korrigierten Messwerte N_{fast} mit zugehörigem Fehler sind in Abb. 4 eingezeichnet. Eine Ausgleichsrechnung (siehe (6)) für den schnellen Zerfall ($t \leq 210 \text{ s}$) mit den korrigierten Messwerten N_{fast} ergibt folgende Parameter:

$$\lambda_{\text{fast}} = (0,0161 \pm 0,0004) \frac{1}{\text{s}}$$

$$b = 6,678 \pm 0,025$$

Nach (1) folgt aus λ_{fast} die Halbwertszeit für den schnellen Zerfall

$$T_{\text{fast}} = (43,0 \pm 1,1) \text{ s}.$$

Die Ausgleichsgeraden, die Messwerte, sowieso die zugehörigen Fehler sind in einem halblogarithmischen Diagramm in Abb. 4 dargestellt.

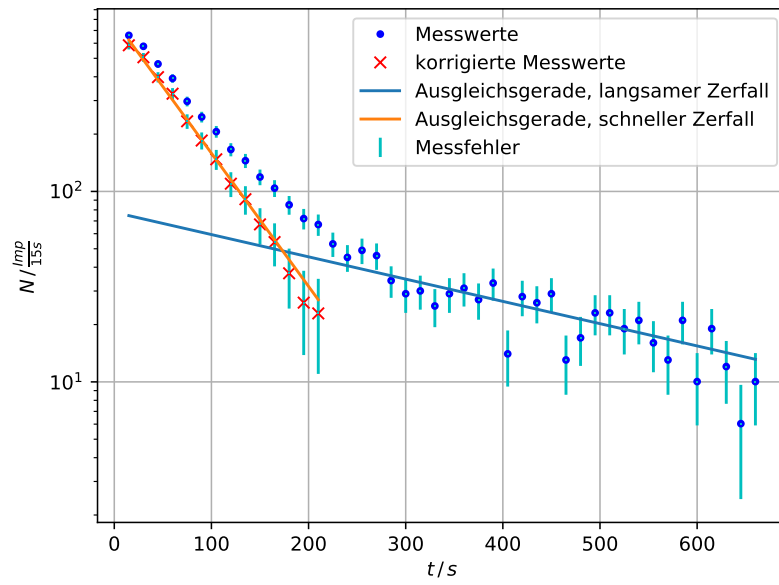


Abbildung 4: Die gemessenen Impulse N_{Rh} (Rhodium) mit zugehörigem Fehler in Abhängigkeit von der Zeit t in einem halblogarithmischen Diagramm dargestellt. Zudem wird eine lineare Ausgleichsrechnung für den langsamen und eine für den schnellen Zerfall durchgeführt. [2] [6] [4] [5]

5 Diskussion

Die Untergrundrate beträgt $N_U = (139 \pm 4) \frac{\text{Imp}}{\text{s}}$. Um eine zuverlässige Untergrundrate zu erhalten, muss diese häufiger oder in einem längeren Zeitintervall gemessen werden. Die gemessenen Werte und die Literaturwerte werden in Tab. 4 verglichen. Der Übergang zwischen schnellem und langsamen Zerfall ist nicht eindeutig, daher sind geringe Abweichungen bei Rhodium zu erwarten. Die Abweichung zu den Theoriewerten [3] ist relativ gering und die Ergebnisse entsprechen der Literatur.

Zerfall	$T_{\text{exp}} / \text{s}$	T_{th} / s	Abs. Abweichung / s	Rel. Abweichung / %
$^{52}_{23}\text{V}$	215 ± 7	224.58	9.58	4.2
$^{104i}_{45}\text{Rh}$	257 ± 37	260.4	3.4	1.3
$^{104}_{45}\text{Rh}$	$43,0 \pm 1,1$	42.3	0.7	1.7

Tabelle 4: Experimentell gemessene und Literaturwerte [3] im Vergleich.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Anleitung zum Versuch 702*. 2014.
- [2] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. Version 1.4.3. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: <http://matplotlib.org/>.
- [3] Thomas Jefferson. *The Periodic Table of Elements*. URL: <https://education.jlab.org/itselemental>.
- [4] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [5] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [6] Travis E. Oliphant. „NumPy: Python for Scientific Computing“. Version 1.9.2. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://www.numpy.org/>.