

ZEE-B – Zeeman-Effekt (Variant B)

Auswertung

Yudong Sun
Gruppe L8

19. August 2021

Teilversuch 1: Vermessung des Magnetfeldes

Fehler $\Delta B = \pm 10 \text{ mT}$

I/A	1,070	2,096	2,995	4,153	5,300	6,033	7,09	8,03	9,06	9,48
$\Delta I/\text{A}$	0,005	0,005	0,010	0,020	0,010	0,010	0,01	0,01	0,01	0,01
B/mT	671	1298	1910	2700	3460	3950	4630	5240	5750	5970

Als Hintergrund haben wir zwei Messungen:

Messung	Hintergrund
Davor	$(0,11 \pm 0,02) \text{ mT}$
Danach	$(1,13 \pm 0,02) \text{ mT}$

Da diese Hintergrundwerte deutlich unter der Unsicherheit ΔB liegt, vernachlässigen wir den Hintergrund.

Wir führen nun eine Kurveanpassung zu $B = mI + c$ mittels gnuplot durch (siehe Appendix A):

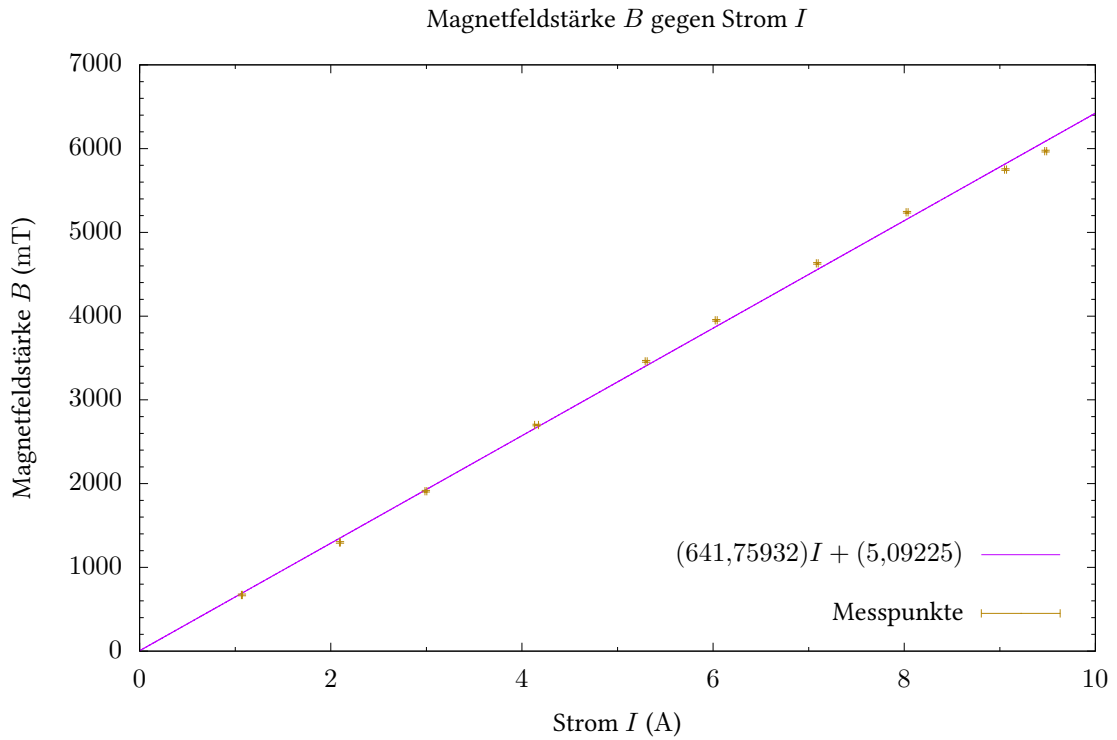


Abbildung 1.1: Magnetfeldstärke gegen Strom
 $(\chi^2_{\text{red}} = 39,1889 \text{ (klein gegen Werten)} \Rightarrow \text{Gute Anpassung})$

Als Endergebnis erhalten wir:

Variable	Roh	Gerundet
m	$(641,759 \pm 8,077) \text{ mT A}^{-1}$	$(641 \pm 9) \text{ mT A}^{-1}$
c	$(5,09 \pm 49,33) \text{ mT}$	$(5 \pm 50) \text{ mT}$

Da 0 im Fehlerintervall von c liegt, ist die Kurveanpassung auch vernünftig. Für die Kalibrierung von Strom zu Magnetfeldstärke dient also die folgende Formel:

$$B/\text{mT} = 641 \times I + 5 \quad (1.1)$$

$$\begin{aligned}
 \Delta B/\text{mT} &= \sqrt{\left(\frac{\partial B}{\partial m} \Delta m\right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial I} \Delta I\right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial c} \Delta c\right)^2} \\
 &= \sqrt{(I \Delta m)^2 + (m \Delta I)^2 + (\Delta c)^2} \\
 &= \sqrt{81 I^2 + 410881 (\Delta I)^2 + 2500} \quad (1.2)
 \end{aligned}$$

Teilversuch 2: Kalibrierung des Linsensystems

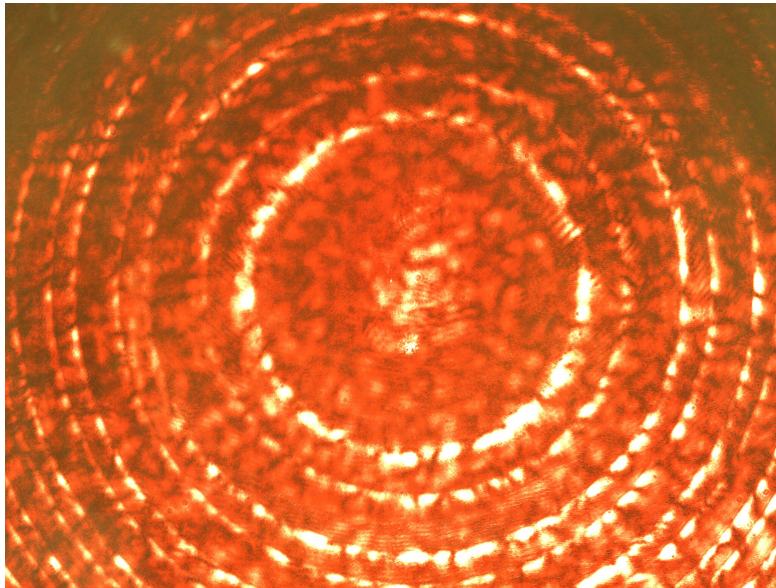


Abbildung 2.1: Interferenzringe mit Laserpointer

Teilversuch 3: Qualitative Betrachtung des Spektrums von Cadmium

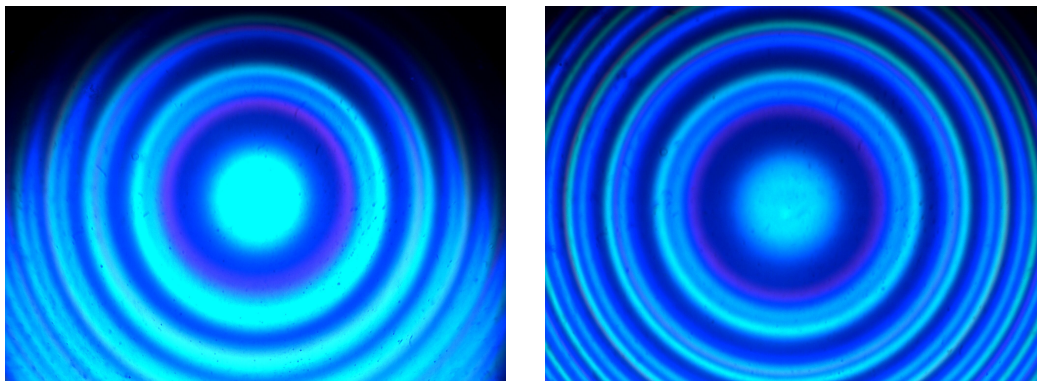


Abbildung 3.1: Interferenzringe mit Cd-Lampe. Vor Justierung (Links). Nach Justierung (Rechts)

Es ist zu bemerken, dass ohne Kamera ist das Interferenzmuster schwer zu sehen. Laut Abbildung 1 der Anleitung gibt es nur 5 Übergängen, die im sichtbaren Bereich liegt. Wir nehmen nun an, dass die Kamera auch nur Licht im sichtbaren Bereich abbilden kann.

Die Zuordnung ist somit:

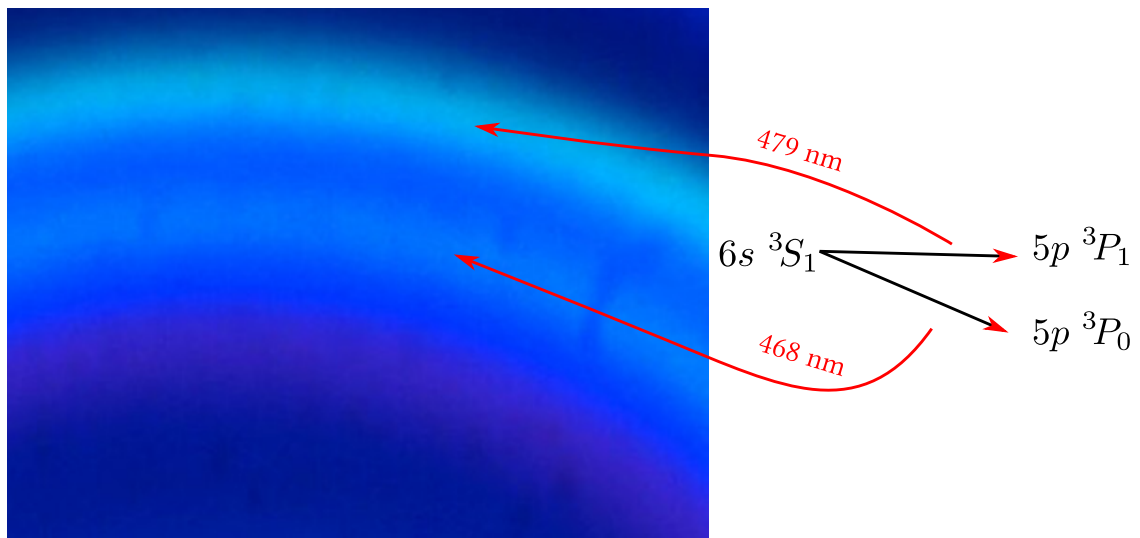


Abbildung 3.2: Zuordnen der sichtbaren Emissionslinien

Die andere sichtbare Linien (508,59 nm, 515,47 nm, 643,85 nm) sind wahrscheinlich zu schwach, um in diesem Bild zu sehen. Man sieht hier auch zusätzlich eine lila Emissionslinie. Sie liegt vermutlich im unsichtbaren UV Bereich ($300\text{ nm} < \lambda < 450\text{ nm}$). Da es mehrere Emissionslinie in diesem Bereich liegt, lässt diese Linie nicht so gut zuordnen.

Teilversuch 4: Quantitative Vermessung des normalen Zeeman-Effekts (transversale Beobachtung)

Es gab am Anfang eine Überbeleuchtung:

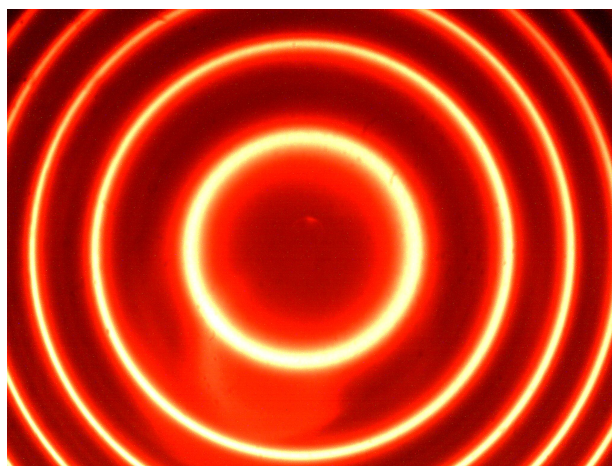


Abbildung 4.1: Überbeleuchtete Interferenzringe von rote Emissionslinie

Nach Anpassung der Beleuchtung im Program.

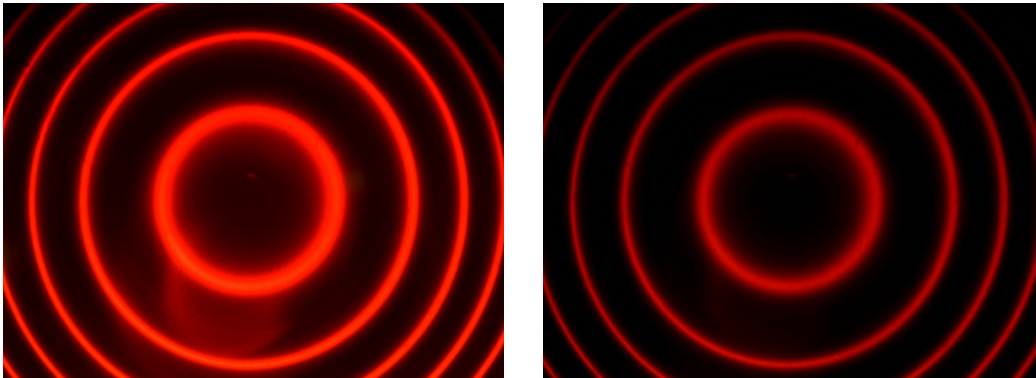


Abbildung 4.2: Interferenzringe von rote Emissionslinie. Ohne Polarisationsfilter (Links). Mit Polarisationsfilter (Rechts)

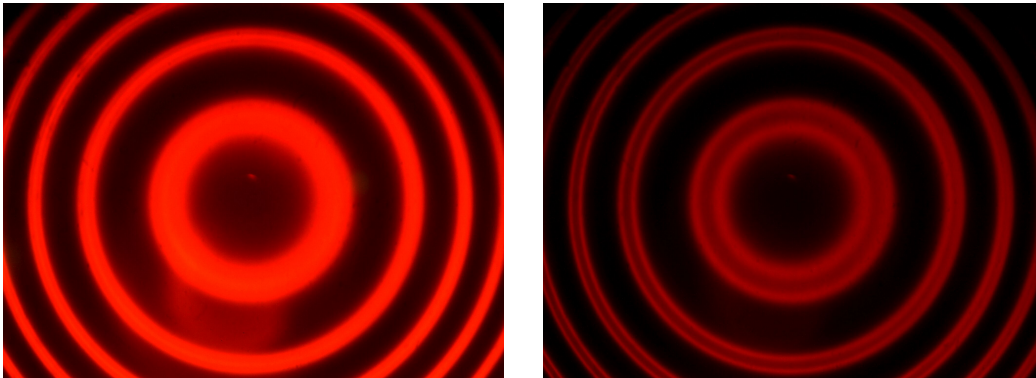


Abbildung 4.3: Interferenzringe von rote Emissionslinie im Magnetfeld $B \approx 2 - 3 \text{ A}$. Ohne Polarisationsfilter (Links). Mit Polarisationsfilter (Rechts)

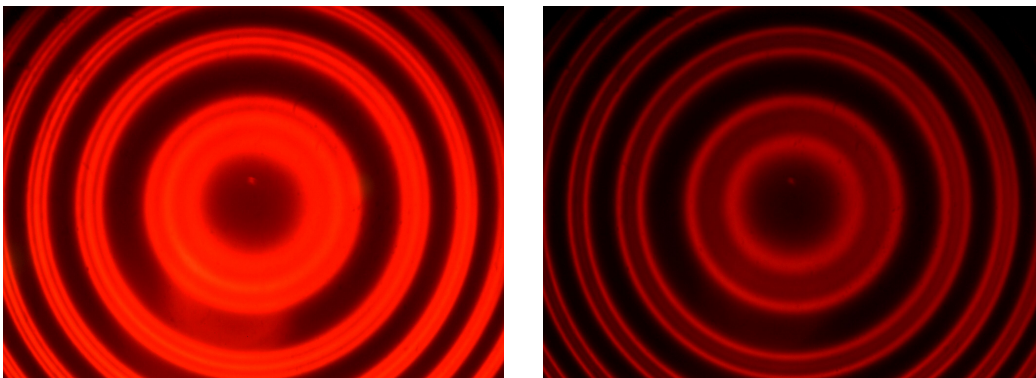
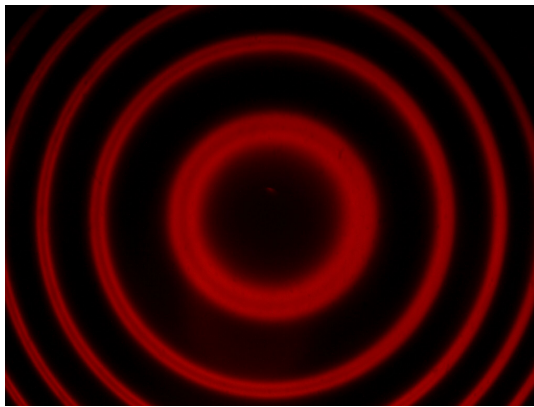
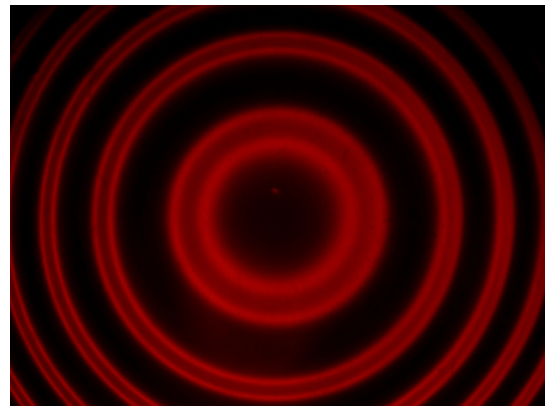


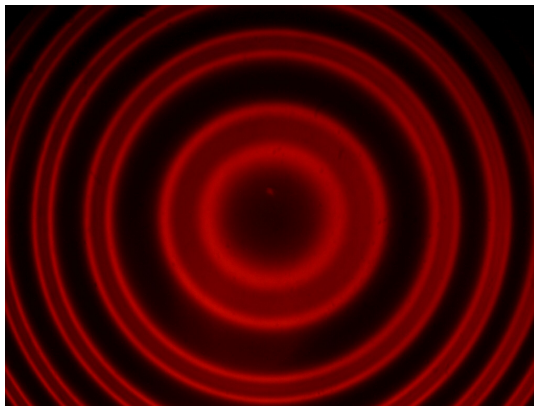
Abbildung 4.4: Interferenzringe von rote Emissionslinie im Magnetfeld $B \approx 6 \text{ A}$. Ohne Polarisationsfilter (Links). Mit Polarisationsfilter (Rechts)



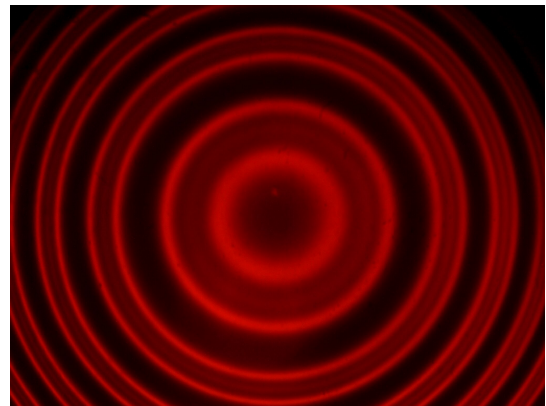
(a) $I = (2,495 \pm 0,005) \text{ A}$



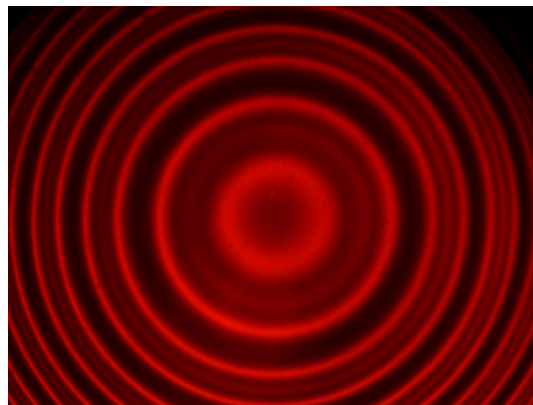
(b) $I = (4,190 \pm 0,010) \text{ A}$



(c) $I = (5,662 \pm 0,010) \text{ A}$



(d) $I = (7,01 \pm 0,01) \text{ A}$



(e) $I = (8,78 \pm 0,01) \text{ A}$

Abbildung 4.5: Messungen

Da die Messreihe zu lang ist, wird sie hier nicht wieder formatiert. Sie finden die Messreihe im Laborprotokoll unter Teilversuch 4. Alle Rechnungen für r_m^2 und $\Delta r_m^2 = 2r_m(\Delta r_m)$ werden direkt in gnuplot berechnet und somit hier nicht weiter beschrieben.

Wir führe nun die benötigte Kurveanpassungen zu $r_m^2 = mp + c$ durch. Der p -Achsenschnittpunkt p_0 ist somit gegeben durch:

$$p_0 = -\frac{c}{m} \quad (4.1)$$

$$\Delta p_0 = |p_0| \sqrt{\left(\frac{\Delta c}{c}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2} \quad (4.2)$$

und im gnuplot direkt berechnet.

Für λ_- :

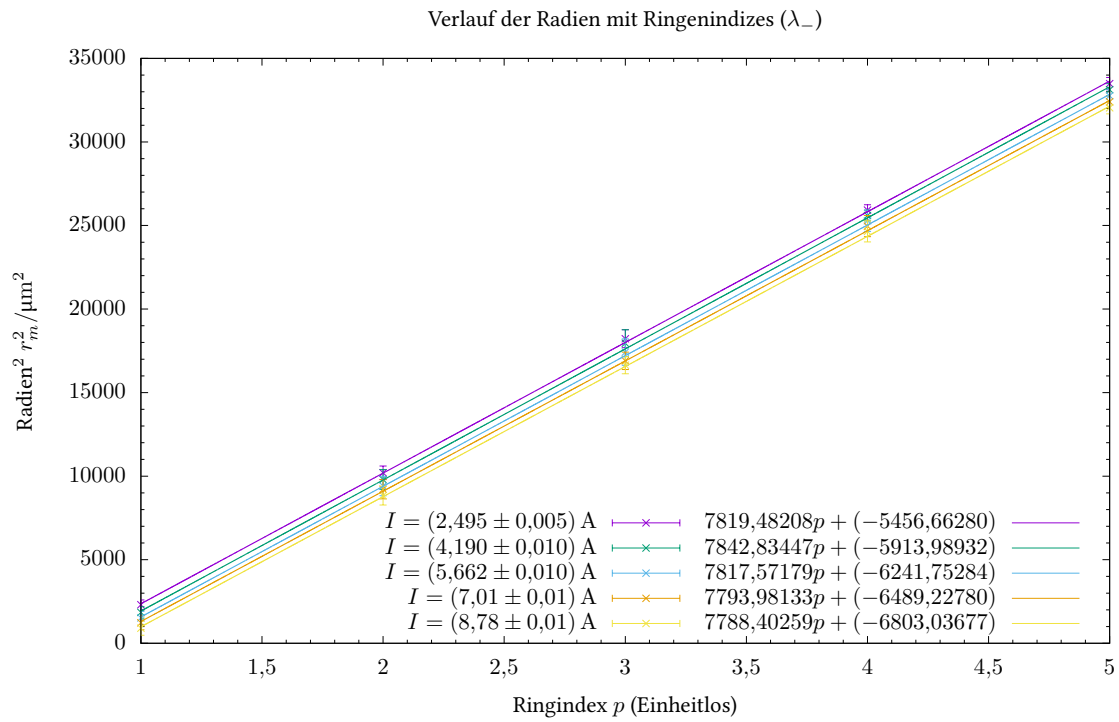


Abbildung 4.6: Verlauf der Ringradien

Strom I/A	$m/\mu\text{m}^2$	$c/\mu\text{m}^2$	p_0	χ_{red}^2
$2,495 \pm 0,005$	$7819,48208 \pm 41,58214$	$-5456,66280 \pm 135,03726$	$0,69783 \pm 0,01766$	$0,16085$
$4,190 \pm 0,010$	$7842,83447 \pm 54,29714$	$-5913,98932 \pm 192,43657$	$0,75406 \pm 0,02509$	$0,22324$
$5,662 \pm 0,010$	$7817,57179 \pm 40,49964$	$-6241,75284 \pm 142,58167$	$0,79843 \pm 0,01870$	$0,10189$
$7,01 \pm 0,01$	$7793,98133 \pm 42,73437$	$-6489,22780 \pm 151,47792$	$0,83259 \pm 0,01996$	$0,10681$
$8,78 \pm 0,01$	$7788,40259 \pm 46,19194$	$-6803,03677 \pm 163,69671$	$0,87348 \pm 0,02165$	$0,12585$

Die kleine χ_{red}^2 's zeigt eine gute Kurveanpassung.

Für λ_+ :

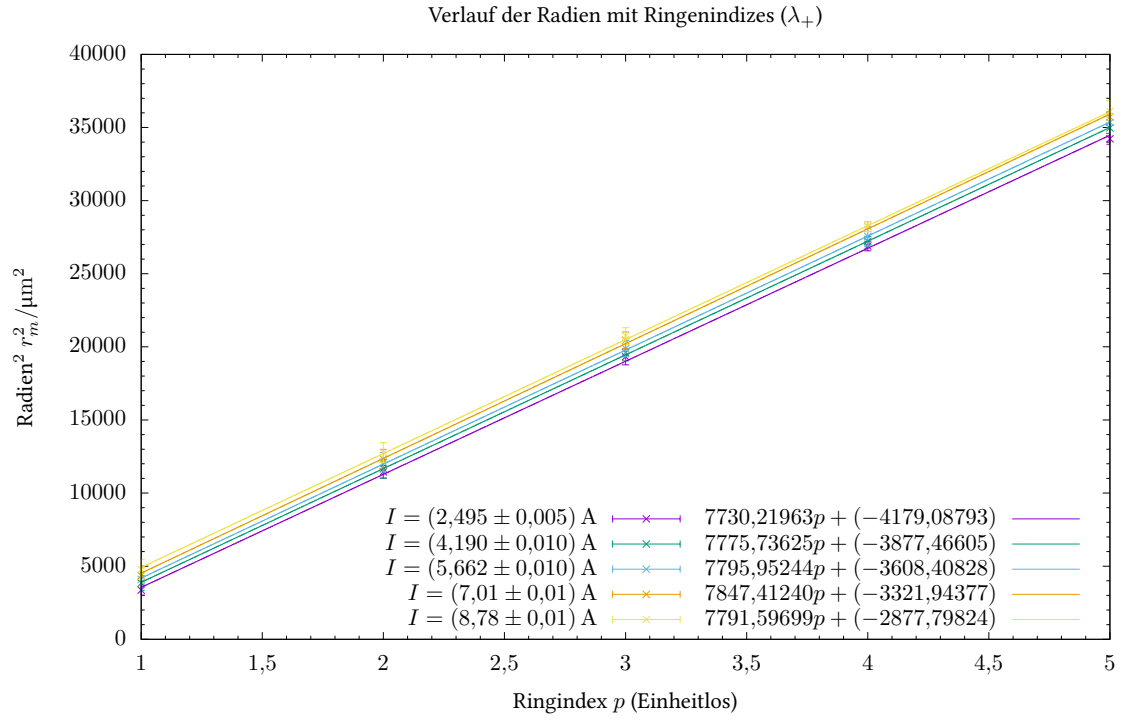


Abbildung 4.7: Verlauf der Ringradien

Strom I / A	$m/\mu\text{m}^2$	$c/\mu\text{m}^2$	p_0	χ_{red}^2
$2,495 \pm 0,005$	$7730,21963 \pm 78,43301$	$-4179,08793 \pm 267,59715$	$0,54062 \pm 0,03505$	$0,47301$
$4,190 \pm 0,010$	$7775,73625 \pm 24,72955$	$-3877,46605 \pm 93,08847$	$0,49866 \pm 0,01208$	$0,03054$
$5,662 \pm 0,010$	$7795,95244 \pm 27,19018$	$-3608,40828 \pm 100,57227$	$0,46286 \pm 0,01300$	$0,03390$
$7,01 \pm 0,01$	$7847,41240 \pm 73,53670$	$-3321,94377 \pm 279,18566$	$0,42332 \pm 0,03580$	$0,24968$
$8,78 \pm 0,01$	$7791,59699 \pm 60,48853$	$-2877,79824 \pm 213,59518$	$0,36935 \pm 0,02756$	$0,08922$

Die kleine χ_{red}^2 's zeigt eine gute Kurveanpassung.

A gnuplot Quellcode zur Auswertung von Teilversuch 1

```

1  #!/usr/bin/env gnuplot
2
3  set term epslatex color size 6in, 4in
4  set output "tv1.tex"
5  set decimalsign locale 'de_DE.UTF-8'
6
7  set title "Magnetfeldstärke  $B$  gegen Strom  $I$ "
8  set ylabel "Magnetfeldstärke  $B$  ( $\text{mT}$ )"
9  set xlabel "Strom  $I$  ( $\text{A}$ )"
10
11 set mxtics
12 set mytics
13 set samples 10000
14
15 f(x) = m*x + c
16
17 # (x, y, xdelta, ydelta)
18 fit f(x) "tv1.dat" u 1:2:3:4 xyerrors via m,c
19
20 set xrange [0:10]
21
22 # Linien
23 set key bottom right spacing 2
24
25 titel = "$(" .gprintf("%.5f", m).")I + (" .gprintf("%.5f", c).")$"
26 plot f(x) title titel lc rgb 'dark-magenta', \
27      "tv1.dat" u 1:2:3:4 with xyerrorbars title "Messpunkte" pointtype 0 lc
      ↪ rgb 'dark-goldenrod'

```

mit tv1.dat:

1	#	I/A	B/mT	delta I	delta B	7	6,033	3950	0,010	10
2		1,070	671	0,005	10	8	7,09	4630	0,01	10
3		2,096	1298	0,005	10	9	8,03	5240	0,01	10
4		2,995	1910	0,010	10	10	9,06	5750	0,01	10
5		4,153	2700	0,020	10	11	9,48	5970	0,01	10
6		5,300	3460	0,010	10					

Rohausgabe:

```

1  After 4 iterations the fit converged.
2  final sum of squares of residuals : 313.511
3  rel. change during last iteration : -4.72691e-06
4
5  degrees of freedom      (FIT_NDF)                : 8
6  rms of residuals        (FIT_STDFIT) = sqrt(WSSR/ndf) : 6.2601
7  variance of residuals (reduced chisquare) = WSSR/ndf : 39.1889
8  p-value of the Chisq distribution (FIT_P)           : 0
9

```

Final set of parameters	Asymptotic Standard Error
=====	=====
m = 641.759	+/- 8.077 (1.259%)
c = 5.09225	+/- 49.33 (968.7%)
correlation matrix of the fit parameters:	
	m c
m	1.000
c	-0.880 1.000