

LAS – Lasersicherheit

Auswertung

Yudong Sun
Gruppe I4

3. März 2021

Teilversuch 1: Maximal zulässige Bestrahlung (MZB)

Keine Auswertung

Teilversuch 2: Strahlungsleistung kontinuierlicher und gepulster Laser verschiedener Wellenlänge (Laser 473 nm, 532 nm, 590 nm)

2.1 Bestimmung der Ausgangsleistung

Keine Auswertung

2.2 Schutzabstufung der Laserschutzbrillen und Filtergläser

Da wir immer nur die relative Leistung vergleichen, ist der Effekt von der falschen Wellenlänge-Einstellung nicht so groß.

Mit der Werten:

Wellenlänge	Leistung / mW			
	Part 15a	Part 15b	Part 15c	
473 nm	2,1	2,1	2,1	Ohne
	0,0134	0,0461	0,3253	Mit
532 nm	8,4	8,4	8,4	Ohne
	0,0047	0,1082	3,4	Mit
590 nm	1,2	1,2	1,2	Ohne
	1,0	0,7296	0,4349	Mit

werden die optische Dichten $\log_{10} \frac{P_0}{P}$ mithilfe LibreOffice Calc berechnet:

Wellenlänge	Optische Dichte			
	Part 15a	Part 15b	Part 15c	
473 nm	2,2	1,7	0,81	Exp
	3 bis 5	1	0	Theo
532 nm	3,3	1,9	0,39	Exp
	3 bis 5	1	0	Theo
590 nm	0,079	0,22	0,44	Exp
	0	0	0	Theo

Also sind die Brillen schützend wie beschreibt für alle Wellenlängen, außer die Brille Part 15a mit der Wellenlänge 473 nm. Die berechnete optische Dichte war weniger als die beschriebte optische Dichte und deswegen nicht genug schützend für das Verwendungszweck.

Mit der Werten:

Wellenlänge	Leistung / mW			
	RG1000	NG9	BG39	
473 nm	2,5	2,5	2,5	Ohne
	0,0236	0,1324	2,0	Mit
532 nm	8,4	8,4	8,4	Ohne
	0,0447	0,3667	6,5	Mit
590 nm	1,2	1,2	1,2	Ohne
	0,0069	0,0492	0,2425	Mit

werden die Transmission $\left(T = \frac{P}{P_0}\right)$ mithilfe LibreOffice Calc berechnet:

Wellenlänge	Transmission T / %			
	RG1000	NG9	BG39	
473 nm	0,94	5,3	80	Exp
	< 0,001	4,356	95,6	Theo (470 nm)
532 nm	0,53	4,4	77	Exp
	< 0,001	4,021	95,71	Theo (530 nm)
590 nm	0,58	4,1	20	Exp
	< 0,001	3,908	66,8	Theo

wobei die theoretische Werten aus den Datenblätter¹ stammen.

Die gemessene Transmissionen bei RG1000 scheinen schon ziemlich niedrig (< 1%) und die Diskrepanz zwischen die theoretische und experimentelle Werten stamm vermutlich aus der Beleuchtung des Experiment-Raums und der begrenzten Genauigkeit des Powermeters.

¹http://www.schott.com/d/advanced_optics/a1138abb-eab0-4996-b31b-6032be69d452/1.5/schott-longpass-rg1000-jun-2017-en.pdf

http://www.schott.com/d/advanced_optics/297bc6b7-4f93-4df7-8348-2fe1e0f810b8/1.5/schott-neutral-density-ng9-jun-2017-en.pdf

http://www.schott.com/d/advanced_optics/4dfdb14e-be6b-453b-850e-1eec963259c3/1.6/schott-bandpass-bg39-jun-2017-en.pdf

Die gemessene Transmissionen bei NG9 liegen allein der Nähe von der theoretischen Werten, also können wir annehmen, dass sie verträglich miteinander sind.

Die gemessene Transmissionen bei BG39 sind viel niedriger als die theoretische Werten. Diese Diskrepanz liegt vermutlich daran, dass der Powermeter verschiedene Wellenlängen nicht unterscheiden kann. Es wird also immer die Leistung aller Wellenlänge gemessen. Da das Filterglas aber die andere Wellenlänge auch filtert, ist die Leistung von der anderen Wellenlängen auch erniedrigt. Somit beiträgt die Beleuchtung des Experiment-Raumes auch zu der Messung. Das kann dann zu eine niedrigere Transmissionmessung.

Diese Problem könnte aufgehoben werden, indem man die Beleuchtung im Raum während des Experiments ausschaltet.

2.3 Bestimmung des Strahldurchmessers

Aus Abbildung 10 der Anleitung gilt:

- $T = 86\% \implies d = 2\omega$
- $T = 99\% \implies d = \pi\omega$

Somit können wir den 99%-Durchmesser mit der folgenden Formel bestimmen:

$$d_{99} = d_{86} \times \frac{\pi}{2} \quad (2.1)$$

Die mittlere Intensität des Strahlquerschnitts ist dann gegeben durch:

$$\bar{I} = \frac{P_0 \times 0,99}{A} = \frac{P_0 \times 0,99}{\pi \times \left(\frac{d_{99}}{2}\right)^2} = \frac{4 \times 0,99 P_0}{\pi d_{99}^2} = \frac{3,96 P_0}{\pi d_{99}^2} \quad (2.2)$$

Unter Berücksichtigung der Gaußschen Strahlprofil ist die maximale Intensität gegeben durch:

$$I_0 = \frac{2}{\pi\omega^2} P_0 = \frac{2}{\pi \left(\frac{d_{86}}{2}\right)^2} P_0 = \frac{8}{\pi d_{86}^2} P_0 \quad (2.3)$$

Wir erhalten dadurch:

Wellenlänge / nm	P_0 / mW	d_{86} / mm	d_{99} / mm	\bar{I} / W m ⁻²	I_0 / W m ⁻²
473	2,7	2,55	4,01	212	$1,06 \cdot 10^3$
532	8,4	2,70	4,24	589	$2,94 \cdot 10^3$
590	1,1	0,94	1,48		

Im Vergleich zur der Grenzwerten aus Teilversuch 1 liegen die maximale Intensität weit ober der MZB. Die Laser im Versuchsraum sind somit in diesem Sinne ziemlich gefährlich.

Teilversuch 3: Klassifikation der Laser

Keine Auswertung

Teilversuch 4: Änderung von lasersicherheitsrelevanten Parametern durch verschiedene optische Instrumente

4.3 Strahlprofil

Da ich die Aufgabe 1 in der Vorbereitung falsch gemacht habe, sind die Rechnung hier nachbessert. Mit WolframAlpha erhalten wir:

$$\begin{aligned}
 P &= \int_A I \, dA = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^R dr \, r I_0 \exp\left\{-2\left(\frac{r}{\omega}\right)^2\right\} \\
 &= 2\pi I_0 \int_0^R dr \, r \exp\left\{-2\left(\frac{r}{\omega}\right)^2\right\} \\
 &= 2\pi I_0 \omega^2 \left[1 - \exp\left\{-2\left(\frac{R}{\omega}\right)^2\right\}\right]
 \end{aligned}$$

Die resultierende Kurve sieht aber genauso aus, wie in der Vorbereitung. Wähle $\omega = \sqrt{2}$ und $I_0 = \frac{1}{4\pi}$ und plote $1 - \exp\{-R^2\}$:

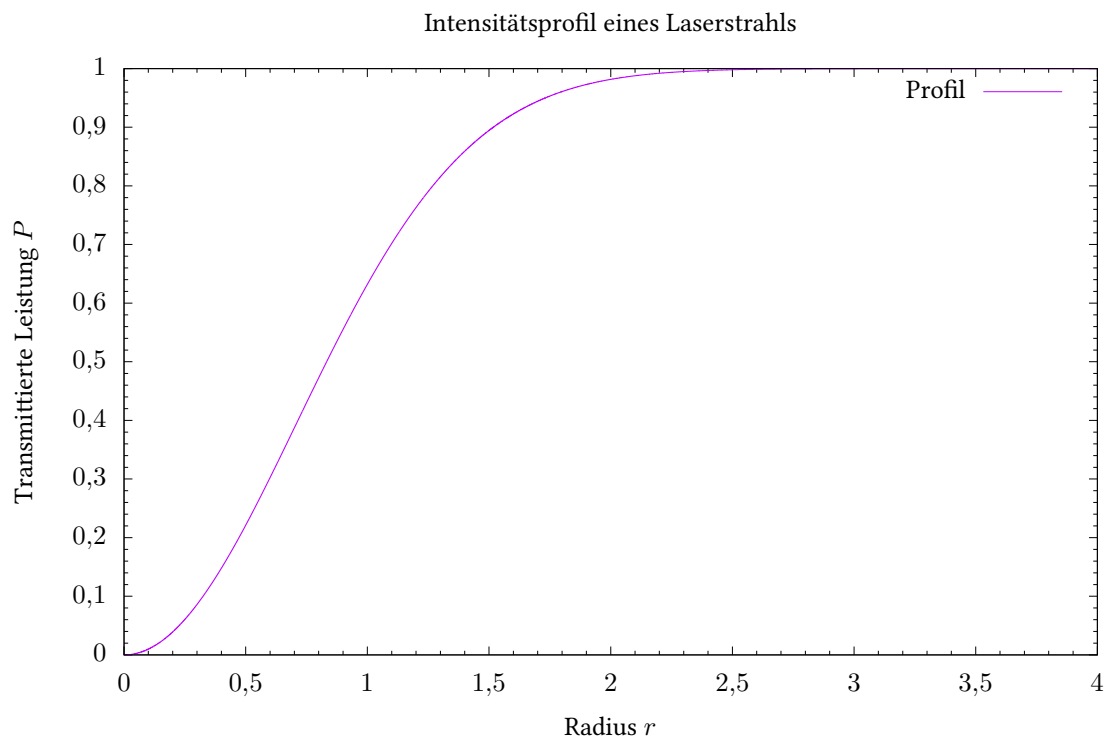


Abbildung 4.1: Intensitätsprofil eines Laserstrahls

Nun plotten wir die Daten aus dem Versuch und führe eine Kurveanpassung mit:

$$P(d) = A\omega^2 \left(1 - \exp \left\{ -2 \left(\frac{d}{2\omega} \right)^2 \right\} \right) = A\omega^2 \left(1 - \exp \left\{ -\frac{d^2}{2\omega^2} \right\} \right) \quad (4.1)$$

$$= AW \left(1 - \exp \left\{ -\frac{d^2}{2W} \right\} \right) \quad (4.2)$$

Bei der Kurvenanpassung wird einen Fehler ΔP von 0,1 mW und einen Fehler Δd von 0,1 mm angenommen.

Aus gnuplot (Appendix A) erhalten wir:

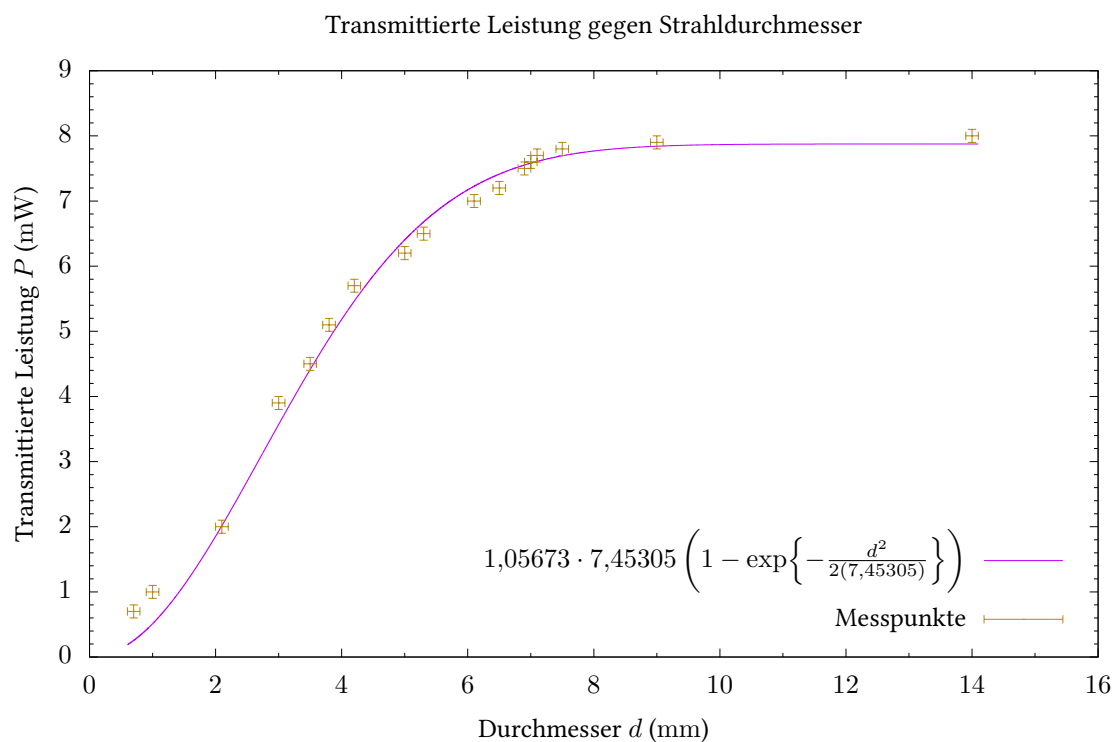


Abbildung 4.2: Intensitätsprofil des grünen Lasers ($\chi^2_{\text{red}} = 1,77774 \approx 1 \Rightarrow$ Gute Anpassung)

mit dem Endergebnis:

Variable	Wert	Gerundet
A	$(1,0567 \pm 0,0488) \text{ mW m}^{-2}$	$(1,06 \pm 0,05) \text{ mW m}^{-2}$
ω^2	$(7,4531 \pm 0,4013) \text{ mm}^2$	$(7,5 \pm 0,5) \text{ mm}^2$

Da die Kurveanpassung ziemlich gut war, können wir daraus schließen, dass die experimentelle Werte die theoretische Gleichung wirklich übereinstimmt. Es ist auch zu bemerken, dass die erhaltenen Kurve komplementär zum gaußförmigen Intensitätsprofil des Laserstrahls ist.

4.4 Divergenzwinkel

Der Halbdivergenzwinkel haben wir als $\varphi = 3^\circ$ im Versuch bestimmt. Mit einer Bestrahlungsdauer von 150 s liegen die Bestrahlung immer noch im Bereich 10^2 s bis $3 \cdot 10^4$ s und wir haben als MZB für den grünen Laser $MZB = 10 \text{ W m}^{-2}$.

Wir nehmen noch zusätzlich an, dass der Fokus eine Durchmesser von $d = 1 \text{ mm}$ hat.

Somit erhalten wir mit $P = 8,4 \text{ mW}$ als r_{NOHD} :

$$\begin{aligned}
 r_{\text{NOHD}} &= \frac{1}{\theta} \times \frac{180}{\pi} \left(\sqrt{\frac{8P}{\pi MZB}} - d \right) \\
 &= \frac{1}{2\varphi} \times \frac{180}{\pi} \left(\sqrt{\frac{8P}{\pi MZB}} - d \right) \\
 &= \frac{1}{2(3)} \times \frac{180}{\pi} \left(\sqrt{\frac{8(8,4 \cdot 10^{-3} \text{ W})}{\pi(10 \text{ W m}^{-2})}} - 1 \cdot 10^{-3} \text{ m} \right) \\
 &= 0,43 \text{ m} = 43 \text{ cm}
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

Wir haben während des Versuchs die Divergenzwinkel bei einem Abstand größer als 43 cm gemessen, somit ist man bei diesem Abstand am Ende des Tisches schon vom Laser sicher.

A gnuplot Quellcode zur Auswertung von Teilversuch 4

```

1  #!/usr/bin/env gnuplot
2
3  set term epslatex color size 6in, 4in
4  set output "tv4-plot.tex"
5  set decimalsign locale 'de_DE.UTF-8'
6
7  set title "Transmittierte Leistung gegen Strahldurchmesser"
8  set ylabel "Transmittierte Leistung $P$ ($\si{\milli\watt}$)"
9  set xlabel "Durchmesser $d$ ($\si{\milli\meter}$)"
10
11 set mxtics
12 set mytics
13 set samples 10000
14
15 f(x) = A*W*(1 - exp(-(x**2)/(2*W)))
16
17 # (x, y, xdelta, ydelta)
18 fit f(x) "tv4.dat" u 2:1:(0.1):(0.1) xyerrors via A,W
19
20 # Linien
21 set key bottom right spacing 2
22
23 titel = "$".gprintf("%.5f", A)."\\cdot".gprintf("%.5f", W)."\\left(1 -
   ↳ \\exp{-\\frac{d^2}{2("}.gprintf("%.5f", W).")}\\right)$"
24 plot f(x) title titel lc rgb 'dark-magenta', \
25      "tv4.dat" u 2:1:(0.1):(0.1) with xyerrorbars title "Messpunkte" pointtype
   ↳ 0 lc rgb 'dark-goldenrod'

```

mit tv4.dat:

1	# P/mW d/mm	10	6,5	5,3
2	8,0 14,0	11	6,2	5,0
3	7,9 9,0	12	5,7	4,2
4	7,8 7,5	13	5,1	3,8
5	7,7 7,1	14	4,5	3,5
6	7,6 7,0	15	3,9	3,0
7	7,5 6,9	16	2,0	2,1
8	7,2 6,5	17	1,0	1,0
9	7,0 6,1	18	0,7	0,7

Rohausgabe:

```

1  final sum of squares of residuals : 47.4052
2  rel. change during last iteration : -5.53932e-06
3
4  degrees of freedom      (FIT_NDF)                : 15
5  rms of residuals        (FIT_STDFIT) = sqrt(WSSR/ndf) : 1.77774
6  variance of residuals (reduced chisquare) = WSSR/ndf : 3.16035
7  p-value of the Chisq distribution (FIT_P)          : 3.17016e-05

```

```
8
9   Final set of parameters          Asymptotic Standard Error
10  =====
11  A              = 1.05673          +/- 0.0488      (4.618%)
12  W              = 7.45305          +/- 0.4013      (5.384%)
13
14  correlation matrix of the fit parameters:
15              A      W
16  A              1.000
17  W             -0.985  1.000
```