

Bei den Resonatoren muss man auf den Effekt der Superposition achten, denn da Wellen immer zurück durch das Medium reflektiert werden, superponieren sie sich ~~stetig~~ mit Wellen neuerer oder älterer Zyklen, dies muss bei der Konstruktion der Resonatoren beachtet werden, denn es bilden sich für bestimmte Lichtfrequenzen bestimmte Feldverteilungen aus (sog. Resonanzmoden). Als einfaches Beispiel hierfür dient der planparallele Resonator, bei dem man eine stehende Welle der Form  $2E_0 \sin(k_1 x) \cos(k_2 z)$  [Herleitung: HFT] erhält mit dem Resonanzmodus  $q = \frac{2L}{\lambda_q}$ . Resonanzmoden sind ell., also ist  $L$  eine Vielfache der halben Wellenlänge  $\lambda_q$ .

In anderen Resonatoren erhält man andere Moden.

Laser mit optischen Resonatoren und Brewster-Fenster dienen also der Erzeugung mikrowell., (bis zu 100 MW beim He-Ne-Laser), kohärenter, bis linear polarisierter Lichtbündel.

Datum: 1.9.2014

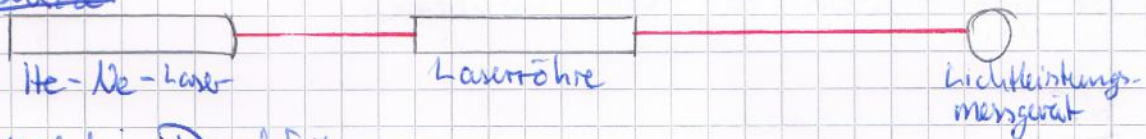
2.1.

Material: He-Ne-Pilot Laser 07HLE001 : Pentax-Kamera

• Laserröhre OS-LHB-290

• Lichtleistungsmessgerät

Skizze



Vorbereitung Durchführung

Es wird zuerst die Lichtleistung  $P_1$  der Pilotlaser bestimmt, nachdem der Versuch entsprechend der Skizze aufgebaut wurde. Danach wird die Lichtleistung  $P_2$  von Laser + Laserröhre gemessen. Abschließend wird die Leistung  $P_3$  gemessen von der Laserröhre allein.



## Kennwerte:

	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$\gamma$
#1 in mW	0,492	0,54	0,036	1,024
#2 mW	0,511	0,575	0,034	1,05
#3 mW	0,491	0,55	0,037	1,045

Tab 1: Berechnung der Verstärkung

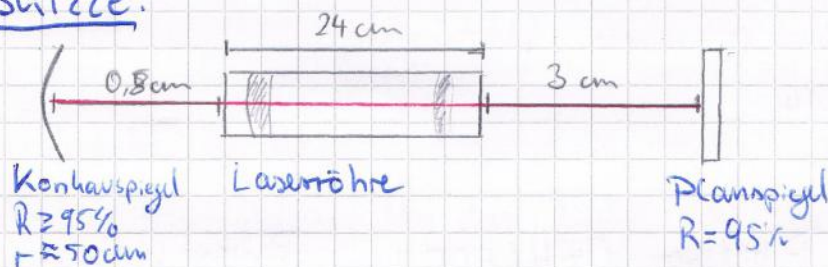
$$\bar{V} = 1,0396$$

Reflektivität muss bei ca.  $>96\%$  liegen bei einem Durchlauf, also brauchen wir einen Spiegel mit ca.  $R \approx 92\%$ .

Wir verwenden  $R = 95\%$

## 2.2

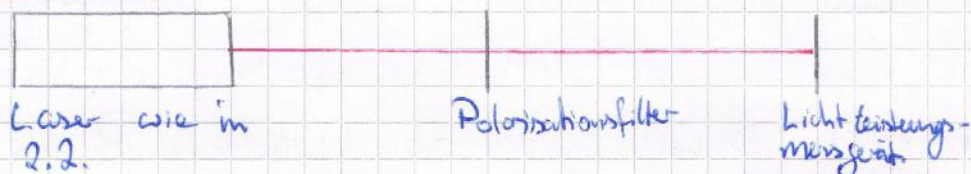
### Skizze:



Durchführung: Es wurde zuerst der Plankspiegel justiert mithilfe des Spiegelwinkels und danach wurde der Konkavspiegel so justiert, dass der Laser funktioniert.

## 2.3

### Skizze:



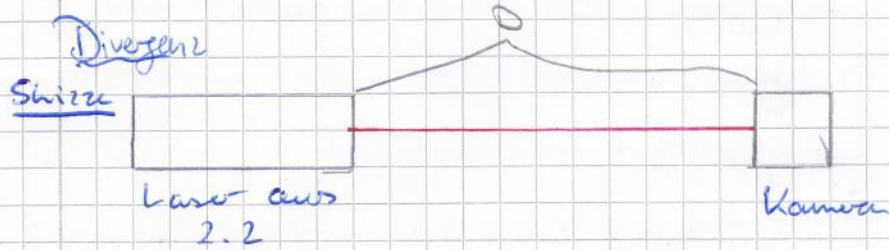
Durchführung: Der Polarisationsfilter wird so lange gedreht, bis entweder  $P_{\min}$  oder  $P_{\max}$  erreicht wird, anschließend werden die zugehörigen Winkel  $\alpha(P_{\min})$ ,  $\alpha(P_{\max})$  abgelesen.

$$P_{\max} = 0,2 \text{ mW}$$

$$\alpha(P_{\max}) = 334^\circ$$

$$P_{\min} = 0,015 \text{ mW}$$

$$\alpha(P_{\min}) = 66^\circ$$



Durchführung: Die Bilder werden genommen bei zwei verschiedenen Abständen  $D_1, D_2$

$$D_1 = 39,2$$

$$D_2 = 5 \text{ cm}$$



2.4

$L$ in cm	$P_{\text{HeNe}}(L)$ in mW
31,5	0,65
32,5	0,681
33	0,7
34	0,601
36	0,54
37	0,55
40	0,42
42,5	0,42
43	0,41

Tab 2: Messwerte für  
den gedehnten Resonator

Skizze:

Kontinuumspiegel

Laseröhre

Plattspiegel



01.09.2014

VT //  $\mu_{\text{H}_2}$

Versuchsdurchführung: Der Abstand  $L$  wurde vergrößert, bis der Laserbetrieb aufgehört hat und dann wurde der Laser so justiert, dass der Laserbetrieb wieder aufging, dies bis wir nicht mehr in der Lage waren den Laser zum Funktionieren zu bringen.



## Auswertung

### 2.1 Justierung der Laserröhre und Messung der Lichtverstärkung

In diesem Versuchsteil wurden die Leistungen vom Pilotlaser ( $P_1$ ), vom Pilotlaser mit eingeschalteter Laserröhre ( $P_2$ ) und von der Laserröhre allein ( $P_3$ ) bestimmt, um den Lichtverstärkungsfaktor  $V$  der Laserröhre herauszufinden.

Messwert Messung Nr.	$P_1$ in mW	$P_2$ in mW	$P_3$ in mW	$V$
# 1	0,492	0,54	0,036	1,024
# 2	0,515	0,575	0,034	1,05
# 3	0,491	0,55	0,037	1,045
	$\bar{V}$	1,0396	$SD$	$7,97 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 3. Messwerte für  $P_1, P_2, P_3$  mit berechnetem Wert für  $V$  und dem daraus ermittelten Mittelwert  $\bar{V}$  und der Standardabweichung  $SD$ .

Wir erhalten also einen Wert von ca.  $1,04 \pm 0,008$  für  $V$ . Dies entspricht einer Lichtverstärkung von ca. 3-5% pro Laserröhrendurchgang. Im Resonator den wir bauen soll der Konkavspiegel einen sehr hohen Reflexionsgrad ( $R > 99,5\%$ ) haben, während beim Planspiegel Licht ausgekoppelt wird. Es gilt nun den Planspiegel so zu wählen, dass der Resonator funktioniert. Dazu muss bedacht werden, dass da am Konkavspiegel (im Idealfall) vollständige Reflexion auftritt, der Laser zweimal durch die Laserröhre tritt, bevor dieser auf den Planspiegel trifft. Wir haben also eine Verstärkung von 6-8% und haben uns daher für den Spiegel mit  $R \approx 95\%$  entschieden, da so die Lichtverstärkung größer ~~stärker~~ ist, als das ausgekoppelte Licht. Dies ist eine Notwendigkeit beim Bau eines Lasers, da sonst kein Licht im Resonator bleibt um durch stimulierte Emission verstärkt zu werden.



## 2.3 Untersuchung von Polarisation und Divergenz des Laserlichts

	Max	Min
$P_{\text{min}}$	0,27	0,015
$\alpha$ in $^{\circ}$	334 $^{\circ}$	66 $^{\circ}$

Tab. 4: Messwerte für  $P_{\text{max}}$ ,  $P_{\text{min}}$  mit den zugehörigen Winkeln

Im ersten Teil haben wir ~~jeweils die maximale~~ einen Polarisations-Rotor zwischen Lichtleistungsmessgerät und unserem selbstgebauten Laser gestellt.

Wir haben gemessen bei welchem Polarisationswinkel die Leistung maximal ( $\alpha(P_{\text{max}}) = 334^{\circ}$ ) und bei welchem sie minimal wird ( $\alpha(P_{\text{min}}) = 66^{\circ}$ ). Es ergibt sich nun, dass die beiden Winkel

im rechten Winkel zueinander stehen. Der Winkelunterschied beträgt  $92^{\circ}$ , also  $\approx 90^{\circ}$ . Im Rahmen von Messfehlern bei den Winkeln kann man hier von linear polarisiertem Licht in der  $334^{\circ}$ -

Grad-Ebene sprechen. Im ~~toten~~ Idealfall wäre die Leistung  $P_{\text{min}} = 0$ , jedoch haben wir hier eventuell nicht vollständig polarisiertes Licht, bzw. es ist vor der Versuchsaufbau durch die anderen Gruppen beleuchtet was zu Messfehlern führt.

Die lineare Polarisation war aufgrund der Brewster-Fenster, die auf dem Prinzip des Brewster-Winkels basieren, und Licht linear polarisieren, die in der Laserröhre sind zu erwarten.

Wir erhalten folgendes Polarisationsverhältnis:

$$\frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{min}}} = 18$$



Im zweiten Teil von 2.3 sollte nun die Divergenz des Laserlichts bestimmt werden, dazu haben wir das Lichtleistungsmessgerät mit einer Kamera ausgetauscht.

Bei zwei eindeutig verschiedenen Abständen  $D_1$  und  $D_2$  wurde der Laser fotografiert um die Divergenz, also die Aufweitung über eine gewisse Entfernung, zu bestimmen:

$$D_1 = 59,2 \text{ cm}$$

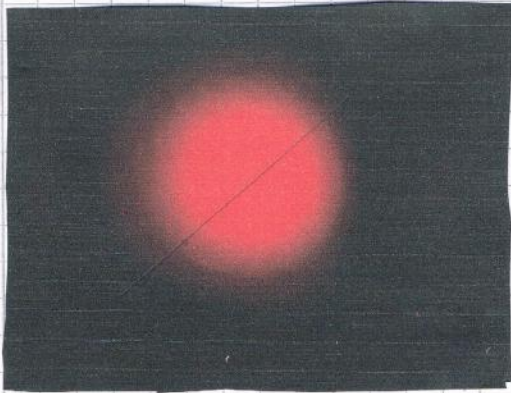


Abb 1: Bild vom Laser im Abstand 59,2 cm mit Linie wie sie bei imageJ gemacht wurde

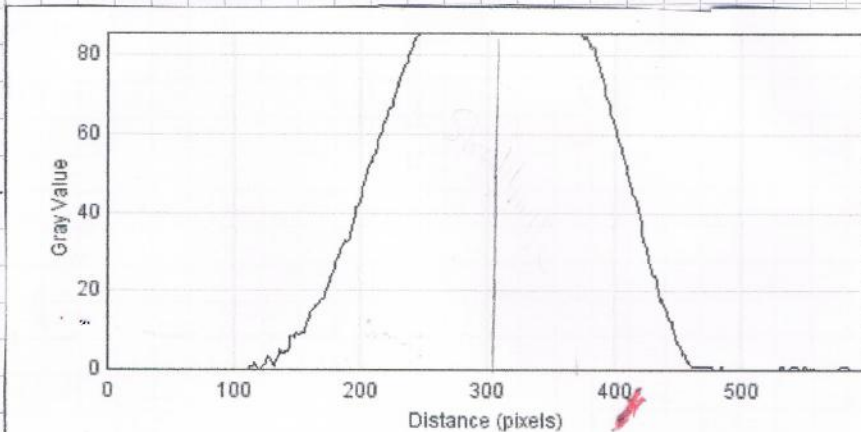


Abb 2: Graphik mit imageJ gemacht zur Darstellung der Helligkeit der Pixel entlang der Linie.  $n$  - Strahlmitte

Man sieht in Abb 2, dass die Strahlmitte ~~mehrere hundert~~ Pixel breit ist. Es gilt Der Wert beträgt 85,6667, wir suchen also den Pixelabstand bei dem der Wert auf 11,5937 abfällt.  $n_1$  bezeichnet dabei den Abstand nach links und  $n_2$  nach rechts. Wir erhalten für  $n_1$ :

$$n_1 = 93$$

$$\Rightarrow w(D_1) = 93 \cdot 4 \mu\text{m} = 372 \mu\text{m}$$

$$n_2 = 160$$

$$w(D_2) = 160 \cdot 4 \mu\text{m} = 640 \mu\text{m}$$



$$D_2 = 5 \text{ cm}$$

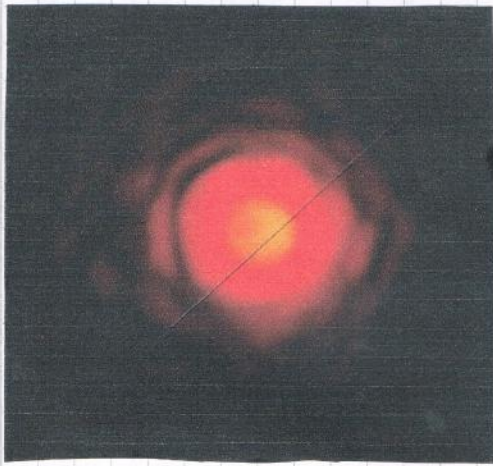


Abb 3: Abbild vom Laser im Abstand 5cm mit Linie wie sie bei image J eingezeichnet wurde

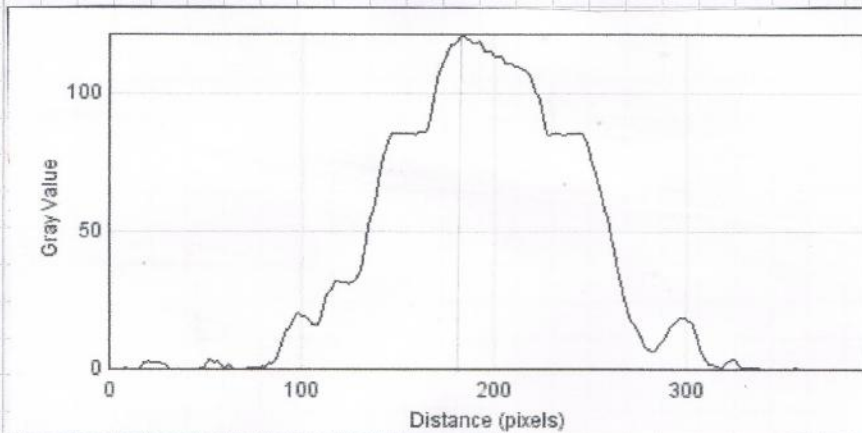


Abb 4: Graph  
mit image J gemacht  
zur Darstellung  
der Helligkeit des  
Pixel

Der Maximalwert beträgt hier 122,3742 wir suchen den Pixelabstand bei dem der Wert auf 16,56 gefallen ist, also

$$n_2 = 115$$

$$w(D_2) = 115 \cdot 4 \mu\text{m} = 460 \mu\text{m}$$

Die maßstabsgetreue Skizze kann ich nun leider nicht machen hier im Heft, da  $\overline{OD_1 D_2} \approx 55 \text{ cm}$  und  $\Delta w(D_2) \approx 460 \mu\text{m}$ .

Es gibt keinen Maßstab bei dem ich beide Entfernungen auftragen könnte, dafür haben wir den Unterschied zwischen  $D_1$  und  $D_2$  zu groß gewählt. Bzw. sehe ich allgemein nicht wie hier maßstabsgetreu gearbeitet werden kann.

Hier eine nicht maßstabsgetreue Skizze:

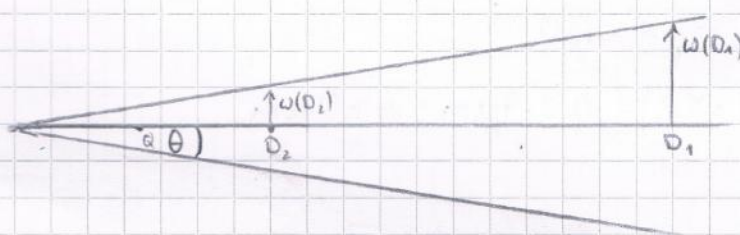


Abb 4: Nicht-maßstabsgetreue Skizze



Die Gerade die von den beiden Punkten  $u(D_1)$  und  $u(D_2)$  aufgespannt wird ergibt sich als eine Gerade mit der

Steigung

$$a = \frac{\Delta u}{\Delta D} = \frac{(640 - 460) \cdot 10^{-6} \text{ m}}{(59,2 - 5) \cdot 10^{-2} \text{ m}} = 3,321 \cdot 10^{-4}$$

Außerdem also haben wir eine Gerade  $f(x) = 3,321 \cdot 10^{-4} x + b$ , wir  
winnen nun:

$$f(0,05 \text{ m}) = 460 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 3,321 \cdot 10^{-4} \cdot 0,05 \text{ m} + b \\ \Rightarrow b = 4,434 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 443,4 \mu\text{m}$$

Dies heißt wiederum, dass  $f(0) = 443,4 \mu\text{m} \neq 0$ . Die "Quelle" liegt also nicht im Ursprung. Außerdem beträgt der Divergenzwinkel:

$$D_1: \theta_1 = \arctan\left(\frac{u(D_1)}{D_1}\right) = \arctan\left(\frac{640 \mu\text{m}}{59,2 \text{ cm}}\right) \approx 0,062^\circ$$

$$D_2: \theta_2 \approx 0,527^\circ$$

$$\Rightarrow \theta = \arctan(a) = \arctan(3,321 \cdot 10^{-4}) = \underline{\underline{0,019^\circ}}$$

Diese Ergebnisse können dadurch erklärt werden, dass auch Laserstrahlen eine Ausdehnung haben und die Lichtemission statistisch ist, was man besonders in Abb. 4 sieht.  $n_2$  ist wahrscheinlich, sehr ungenau, da es nicht offensichtlich ist, dort den Radius abzulesen. Würde man mehr Entfernungen messen und per lineare Regression eine Gerade bestimmen so hätte man ein aussagekräftigeres Ergebnis. Mit diesen Werten muss man Ingeräten <sup>als</sup> ~~mit~~ Messen beginnen.



## 2.4 Variationen des Resonators

In diesem Vers. Teil wird versucht den Resonator so weit wie möglich auseinander zu bewegen und trotzdem die Laser-Funktion zu erhalten. Nach jeder Verlängerung wurde der Laser neu justiert um die Leistung zu maximieren.

L in cm	P in mW
31,5	0,65
32,5	0,681
33	0,7
34	0,601
36	0,54
37	0,55
40	0,42
42,5	0,42
43	0,41

Tab. 5 Leistung  $P_{\text{Laser}} (=P)$  in mW zu der dazugehörigen Länge

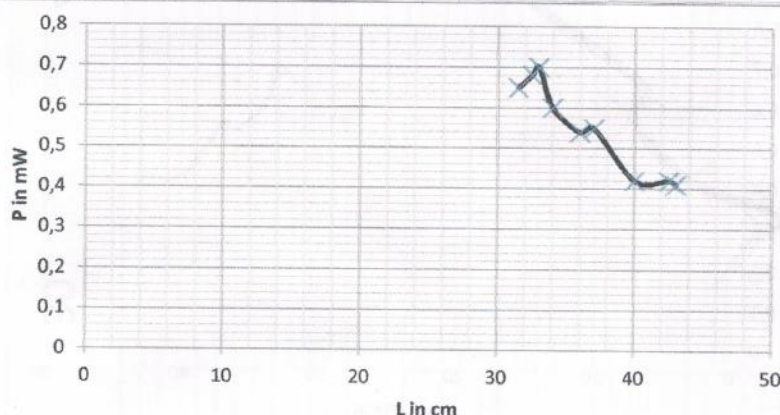


Abb. 5: Graphische Darstellung von Tab. 5

Ich denke, dass die Ursache für die Kurvenform Messfehler sind. Wir haben uns nicht sehr viel Zeit für diesen Teil genommen, da wir noch den Teil mit der Kamera vollenden mussten und ~~Shuss~~ ~~also~~ daher sind diese Messwerte nicht ~~so~~ aussagekräftig bzw. würde ich keinen Trend sehen, da ~~es zuerst steigt~~ ~~aber~~  $P_{\text{Laser}}$  bis 33 cm steigt, dann sinkt bis 36 cm welches gefügt ist von einer positiven Steigung bis 37 cm und dann wieder sinkt. Dies sieht aus wie ein Sägezahnmuster für welches ich keine Erklärung hätte. Hätte man mehr Zeit zum Nachjustieren gehabt hätte man bessere Ergebnisse bekommen.