

Praktikumsbericht

Erzeugung ultrakurzer Laserpulse (IQ 7)

Jonathan Rossberg, Eduard Sauter

4. Juli 2016

Praktikum im Rahmen der Vorlesung Koheränte Optik im

Sommersemester 2016

Betreuer: Bernhard Kreipe

1 Dauerstrichbetrieb

Bestimmen sie den theoretischen Verlauf der $g_0 - P$ Kennlinie Die Ratengleichungen lauten.

$$T_R \frac{dg}{dt} = \underbrace{\frac{g_0}{T_L}}_{\text{Pumpen}} - \underbrace{\frac{gP}{P_{\text{sat}}}}_{\text{Stimulierte Emission}} - \underbrace{\frac{g}{T_L}}_{\text{Dunkle Abregung}}$$

$$T_R \frac{dP}{dt} = \underbrace{2gP}_{\text{Stimulierte Emission}} + \underbrace{2gP_{\text{vac}}}_{\text{Spontane Emission}} - \underbrace{\frac{P}{T_p}}_{\text{Lineare Verluste}}$$

Im Dauerstrichbetrieb sind $\frac{dg}{dt} = \frac{dP}{dt} = 0$. Man erhält dann

$$2g_s P_s = \frac{P_s}{T_p} - 2g_s P_{\text{vac}}$$

$$-\frac{g_0}{T_L} = g_s \left(\frac{P_s}{P_{\text{sat}}} - \frac{1}{T_L} \right)$$

$$\iff$$

$$g_s = \frac{1}{2T_p} \frac{1}{1 - \frac{P_{\text{vac}}}{P_s}} = \frac{g_0}{1 - \frac{P_s T_L}{P_{\text{sat}}}}$$

$$\iff$$

$$\left(1 - \frac{P_s T_L}{P_{\text{sat}}} \right) = g_0 2T_p \left(1 - \frac{P_{\text{vac}}}{P_s} \right)$$

$$\iff$$

$$0 = P_s^2 + P_s (2g_0 T_p - 1) \frac{P_{\text{sat}}}{T_L} - \frac{P_{\text{vac}} P_{\text{sat}}}{T_L} \iff$$

$$P_s = -\frac{\gamma}{2} \pm \sqrt{\frac{\gamma^2}{4} + \delta}$$

Mit

$$\gamma = \frac{P_{\text{sat}}}{T_L} (2g_0 T_p - 1) \qquad \delta = \frac{P_{\text{vac}} P_{\text{sat}}}{T_L}$$

Die Form dieser Kennlinien sind in Abbildung 1 dargestellt. Für $P_{\text{vac}} = 0$, also vernachlässigung von spontaner Emission ergibt sich

$$P_s = \frac{P_{\text{sat}}}{T_L} (2g_0 T_p - 1) \qquad g_s = \frac{1}{2T_p}$$

Die Lasingbedingung ist in diesem Fall eine positive stationäre Leistung $P_s > 0$ und führt zu

$$g_0 T_p > \frac{1}{2}$$

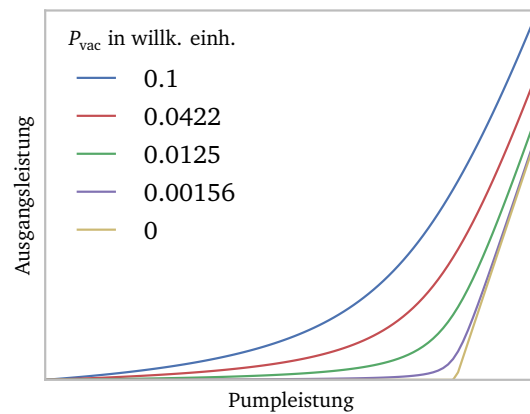


Abbildung 1: Laserkennlinie für verschiedene koeffizienten der spontanen Emission

Bei gegebenem Gesamtverbrauch $g_s = l$ ist dann außerdem die Lebenszeit der Photonen pro Resonatorumlauf $T_p = \frac{1}{2l}$.

Man aus den Ratengleichungen qualitativ sehen, dass bei einer Störung von $P' < P$ der Gewinn größer wird und dadurch auch $P'' > P'$. Das System ist also stabil unter Störung von P durch z.B. einen akusto-optischen Modulator (siehe kommenden Abschnitt).

1.1 Schwellenstrom und Slope-Efficiency

Zuerst wird der Laser mit einem hochreflektierenden Spiegel ($R > 0.99$) betrieben. Die Ausgangsleistung des Lasers wurde in abhängigkeit des Pumpstroms mit einem Thermischen Leistungsmesskopf ermittelt. Danach wurde der Strahl des Pumplasers ausgekoppelt und dasselbe für den Pumplaser wiederholt, um dann durch den Fit aus dem ersten Graphen den differentiellen Wirkungsgrad zu erhalten. Beide Messungen sind in Abbildung 2 veranschaulicht.

1.2 Auskopplungsstärke

Der hochreflektierende Auskoppler ist in diesem Versuch durch andere Auskoppelspiegel mit definierten Transmissionswerten ausgetauscht worden. Aus den $P - I$ Diagrammen wurden die Schwelleistungen durch lineare extrapolation bei Größeren Pumpleistungen ermittelt. Diese Schwelleistungen sind in Findlay-Clay darstellung in Abbildung 3 zu sehen. Die Verluste pro Rundgang sind das Verhältnis der Fitkoeffizienten und sie ergeben sich zu 65 %.

1.3 Störung des stabilen Betriebs

Mithilfe eines Opto-Akustischen Modulators kann der stabile Laserbetrieb gestört werden. Der AOM ändert seinen Brechungsindex je nach angelegter Spannung. In unserem Fall wurde mit einem Frequenzgenerator eine Rechtecksfunktion erzeugt, die man in Abbildung 1.3 sehen kann.

1.4 Transversale Moden

Bei nicht optimaler justierung waren auch andere Moden zu erkennen als die Grundmode TEM_{00} . Sie wurden mit einer Handkamera abfotografiert und für Abbildung 6 und 7 nachbearbeitet. Es wurden Hermite-Moden beobachtet, was für eine rechteckige Symmetrie des Lasers spricht.

2 Erzeugung der 2. Harmonischen

2.1 Intensität und Fokushärte

Die Intensität des Frequenzverdoppelten Strahls wurde mithilfe eines Photomultipliers vermessen. Der vorhandene thermische Messkopf zur Leistungsmessung war nicht sensitiv genug um damit die Leistung direkt zu vermessen zu können.

2.2 Strahlradius im Fokus mit Rasierklingenmethode

Die Intensität des Gaußschen strahls kann durch

$$I(r, z) = I_0 \left(\frac{w_0}{w(z)} \right)^2 e^{\frac{-2r^2}{w^2(z)}}$$

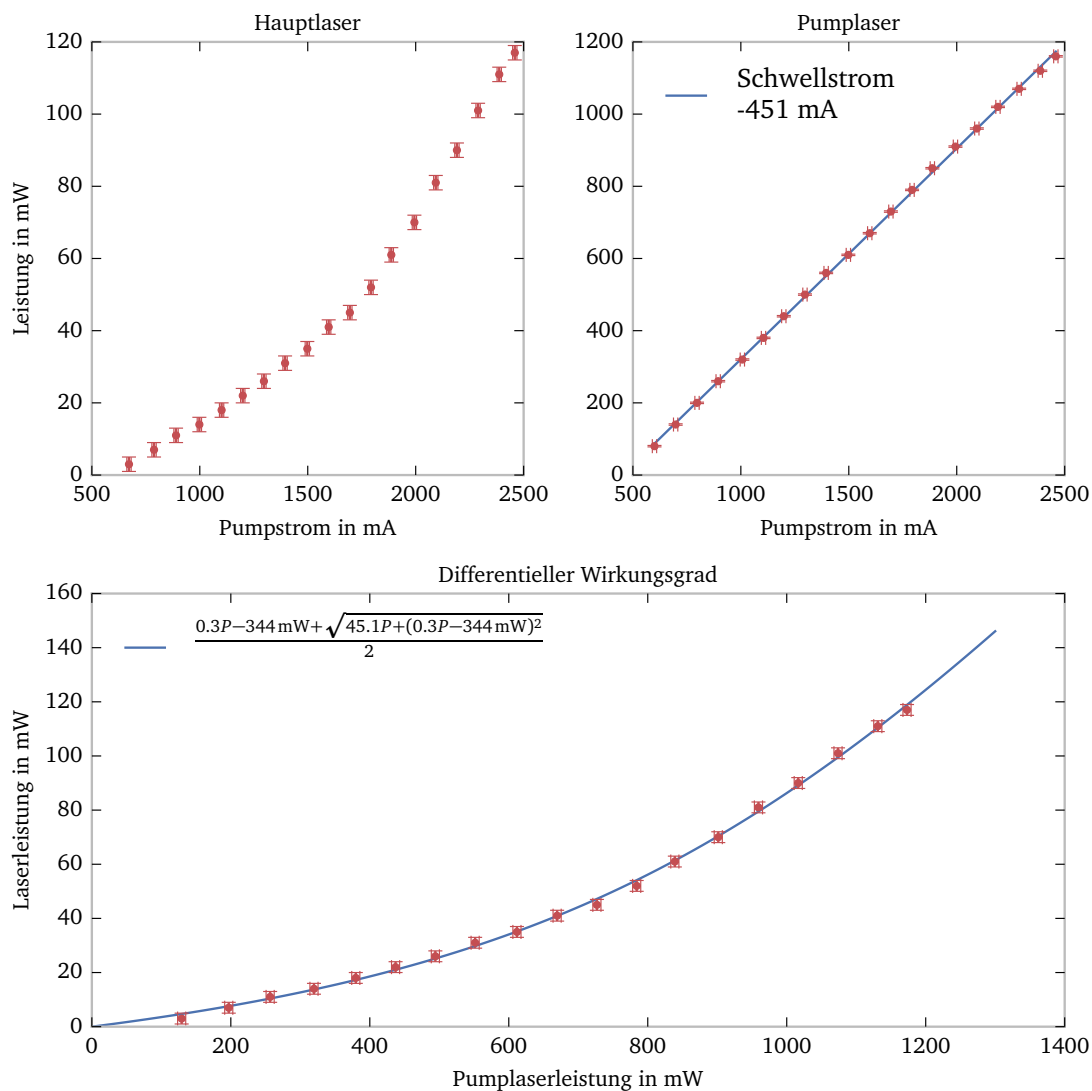


Abbildung 2: Differenzieller Wirkungsgrad. An der ersten Kurve erkennt man dass der Laser erst bei der Schwelle des Pumplasers Leistung gewinnt. Im unteren Graphen ist dieser Effekt nicht mehr zu sehen da die echte Pumpleistung als Argument aufgetragen worden ist. An dem unteren Graphen sieht man, dass die Lösung der Ratengleichung für einen kleinen Wert von P_{vac} einen guten Fit für die Laserleistung liefert. Dies ist auch durch den hochreflektierenden Auskoppelspiegel begründet, durch den die spontane Emission entscheidender wird. Für kleine Intensitäten ist der verwendete thermische Messkopf nicht sensitiv genug gewesen.

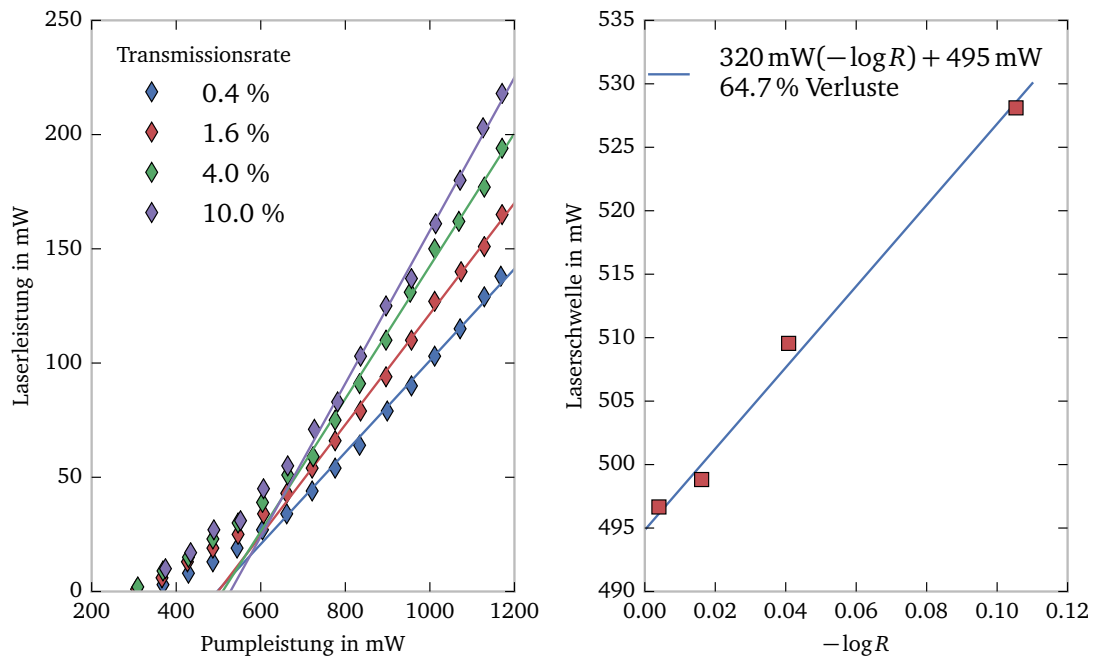


Abbildung 3: Findlay-Clay darstellung der Laserschwellen

beschrieben werden. Dabei ist der Strahlradius der Punkt an dem die Transversale funktion auf $1/e^2$ abgefallen ist. Sie ist nach [1] gegeben durch

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_R}\right)^2} \quad z_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$$

für große $|z|$ ist der Verlauf in guter Näherung linear,

$$w(z) \approx w_0 \frac{z}{z_R} = \frac{\lambda z}{w_0 \pi} = \sin \theta \stackrel{\theta \ll 1}{\approx} \theta$$

man kann also durch die Steigung experimentell den Strahldurchmesser am Fokuspunkt ermitteln. Für kleine Werte ist diese gleich dem Divergenzwinkel θ .

Um den Strahldurchmesser zu bestimmen wird eine Rasierklinge horizontal und vertikal durch den Strahl gefahren. Der Intensitätsverlauf hinter der Klinge entspricht einem Integral über eine Gaußfunktion. Diese Funktion wurde auch als Fit für die Abbildungen 9 verwendet.

$$\text{erf}(x) = \int_{-\infty}^x e^{-\gamma^2} d\gamma$$

<++>

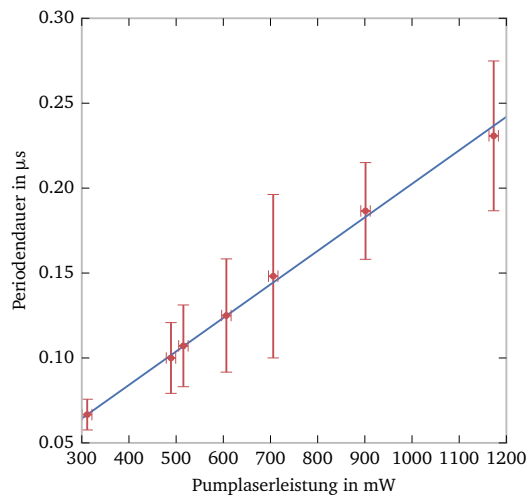


Abbildung 4: Frequenz der Relaxationsschwingungen als Funktion der Pumpleistung. Die Unsicherheiten ergaben sich je nachdem wieviele Perioden auf dem Display abgelesen werden konnten

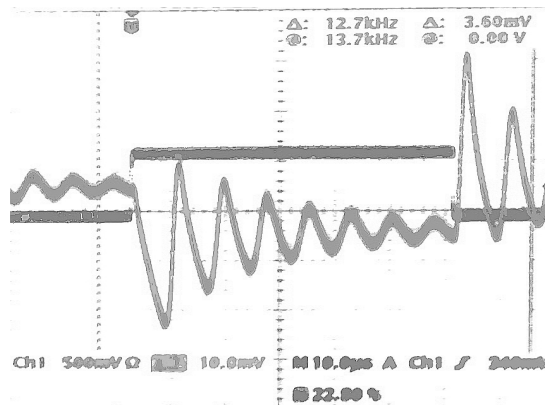


Abbildung 5: Anzeige des Oszilloskops mit den beobachteten Relaxationsschwingungen bei der an den AOM angelegten Rechtecksfunktion.

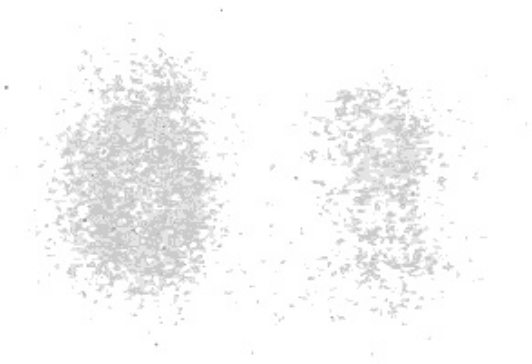
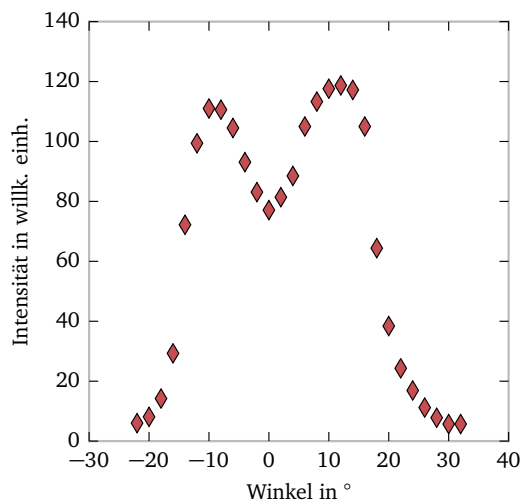


Abbildung 6: TEM₁₀ Mode



Abbildung 7: TEM₃₀ Mode



Brennweite f in mm	Intensität in w. E.
30	150
40	145.2
80	134.2
100	117

Abbildung 8: Transversalwinkelabhängigkeit SH-Intensität. Die Funktion ist symmetrisch erwartet worden. Vermutlich hat die Verschiebung vom Fokus weg beim Rotieren des Kristalls diese Symmetrie gebrochen.

Tabelle 1: Stärke der zweiten Harmonischen unter verschiedenen Brennweiten bei Fokussierung in den BBO Kristall.

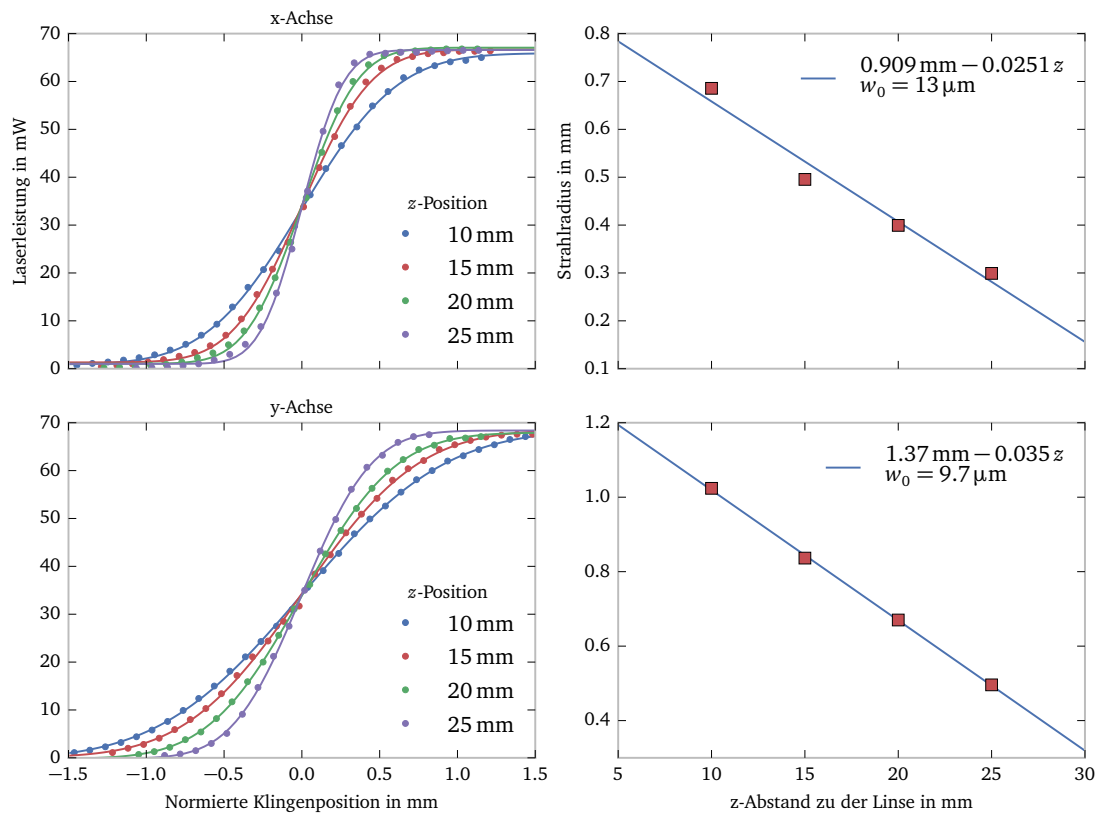


Abbildung 9: Strahldurchmesser und Intensitätsprofile. Der Strahl wurde mit einer 40 mm Linse fokussiert. Vor dem Fokus wurden für verschiedene Abstände zur Linse die ersichtlichen Graphen gemessen.