

Photonenzähler

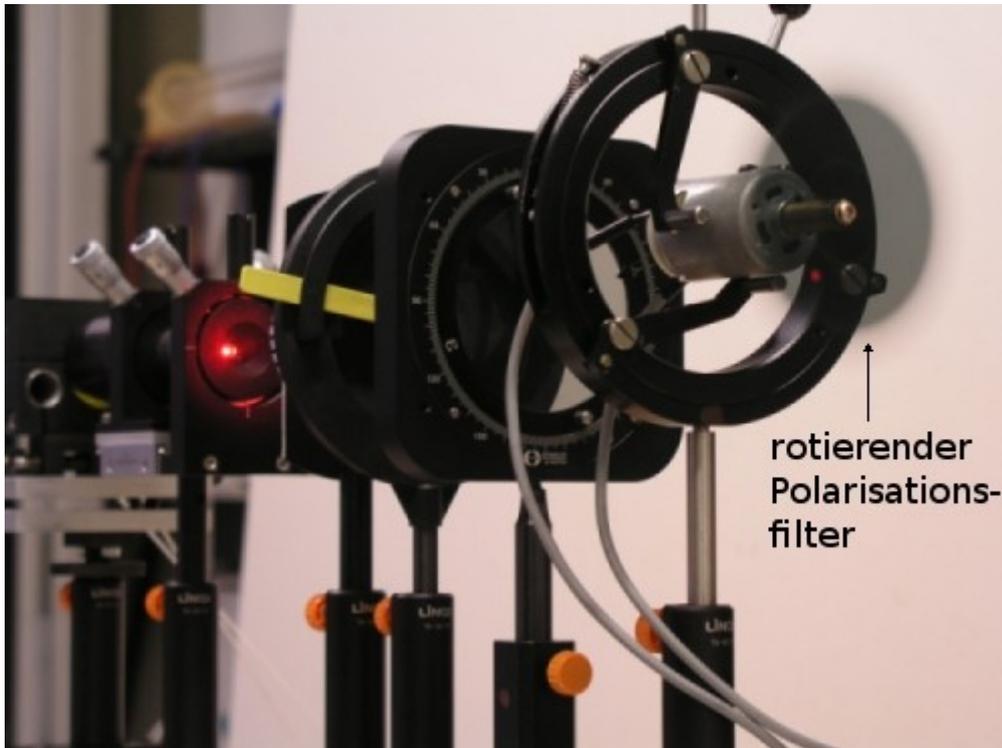


Abb. 1: Aufbau mit Blende und Polarisationsfiltern

Geräteliste:

Laser mit Aufweitung, Blende (optional), kleiner Motor mit montiertem Polarisationsfilter, Photodiode, Netzteil (Motor und Photodiode), Hochspannungsnetzteil, Photomultiplier, Neutralsichtfilter (ND 10), Speicheroszilloskop, Vorverstärker, Diskriminator, TTL Pulszähler (Empfindlichkeit $< 4\text{ns}$)

Versuchsbeschreibung:

Der Versuch besteht im Wesentlichen aus zwei Teilen. Im ersten Teil wird die Wellencharakteristik des Lichtes anhand der Abschwächung der Intensität durch Polarisatoren gezeigt und im zweiten Teil wird der Teilchencharakter durch Zählen einzelner Messereignisse hervorgehoben.

Teil 1

Durch Abschwächen des Strahles mittels des ersten Polarisators kann auf die Kontinuität der Abschwächung hingewiesen werden. Indem der Laser auf eine

Leinwand abgebildet wird, ist die Bandbreite zwischen kein Licht und volle Intensität zu erkennen.

Durch Einbringen des angetriebenen Polarisators und der Photodiode wird nun die \cos^2 Abhängigkeit auf dem Oszilloskopschirm dargestellt. Der kleine Motor ist so zu positionieren, dass der Strahl knapp vorbei durch den Polfilter läuft und auf die Photodiode scheint. Die Intensität sollte mittels des ersten Polarisators nicht zu groß gewählt werden um die Photodiode vor Schaden zu bewahren.

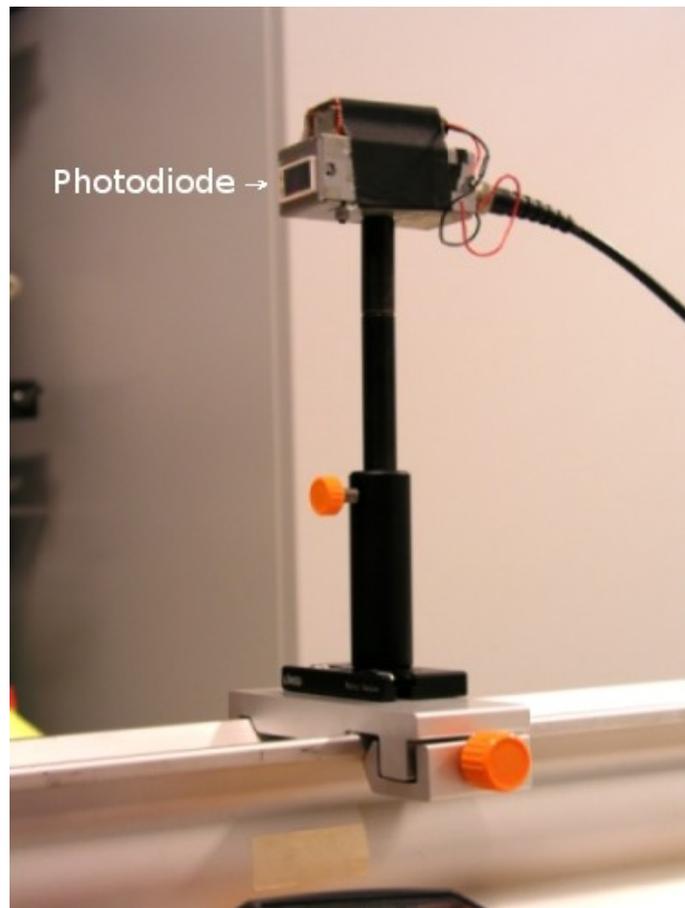


Abb. 2: Photodiode zum Messen des Intensitätsverlaufs

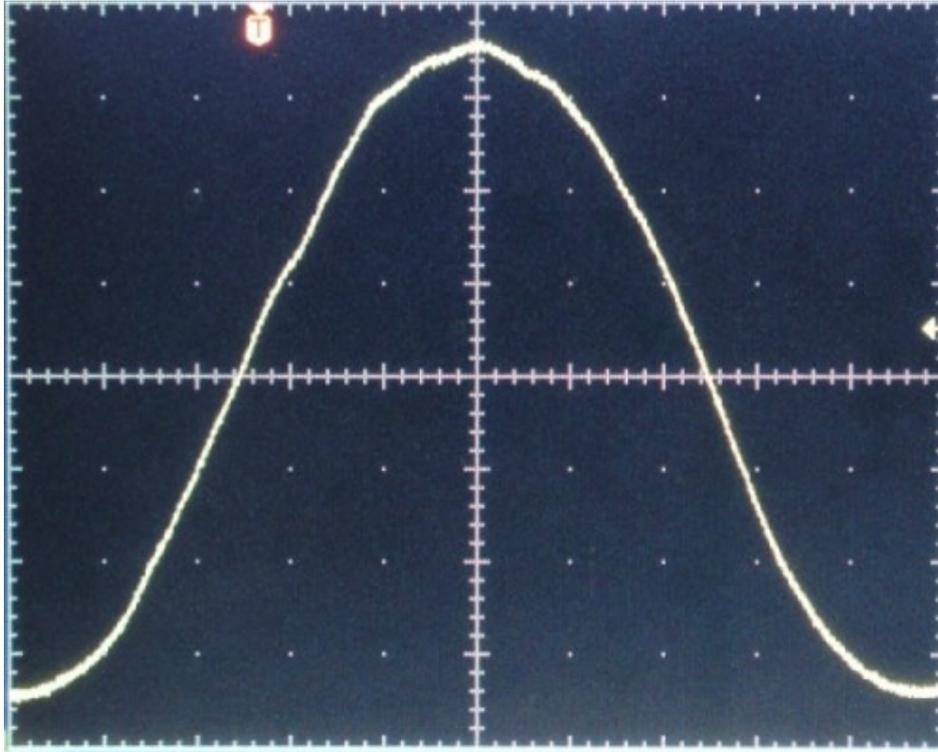


Abb. 3: Oszilloskopbild

Teil 2

Zum „Photonen zählen“ muss der Photomultiplier am optischen Eingang mit Neutralsichtfiltern versehen werden damit die empfindliche Schicht nicht beschädigt wird. Um eine Zählrate von ca. 10^6 s^{-1} zu erreichen muss die Intensität um 10 Größenordnungen abgeschwächt werden, da ein 20mW Laser in der Größenordnung 10^{16} s^{-1} Photonen emittiert.

Zuerst können die Pulse des Photomultipliers selbst gezeigt werden. Die Halbwertsbreite beträgt ca. 10 ns und die Pulshöhe liegt im mV Bereich. Der Photomultiplier wird mit 1 kV negativer Hochspannung betrieben, die zu messenden Spannungspulse sind auch negativ.

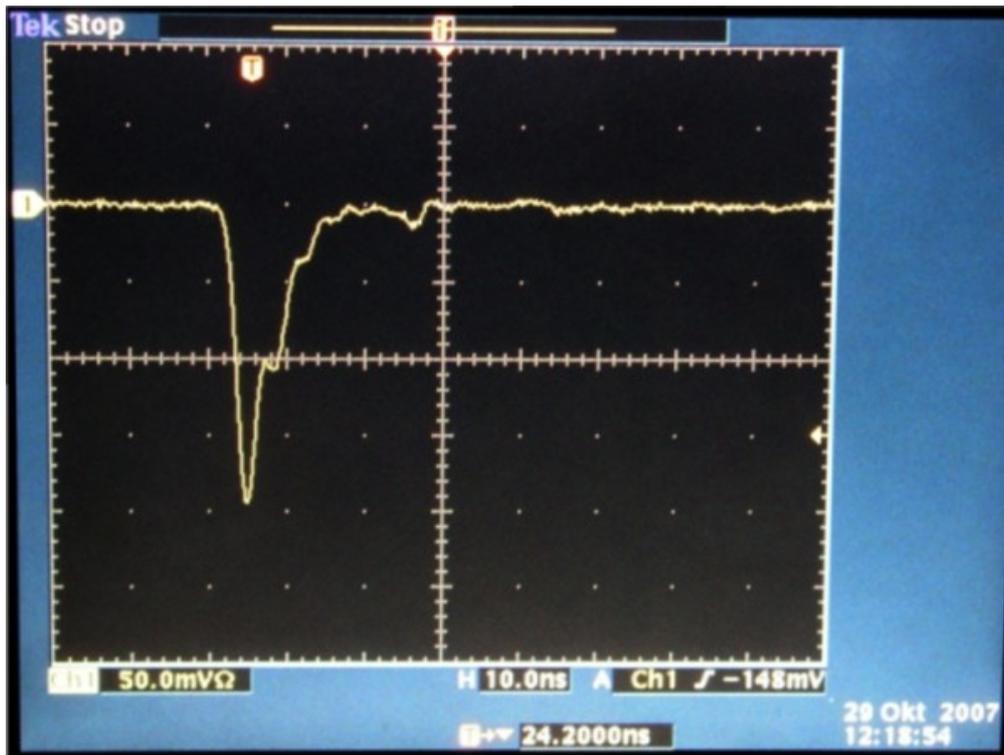


Abb. 4: Pulsform am Ausgang des Photomultipliers

Als nächstes wird der Vorverstärker mit Diskriminator in Betrieb genommen. Die Pulse werden in positive gut messbare TTL-Signale gewandelt und mit dem Zähler sichtbar gemacht. Das lower Level am Diskriminator kann so eingestellt werden dass eine Dunkelzählrate von ca. 1000 s^{-1} zu sehen ist. Bei voller Bestrahlung durch den Laser steigt die Zählrate dann auf das mindestens 10 bis 20-Fache.

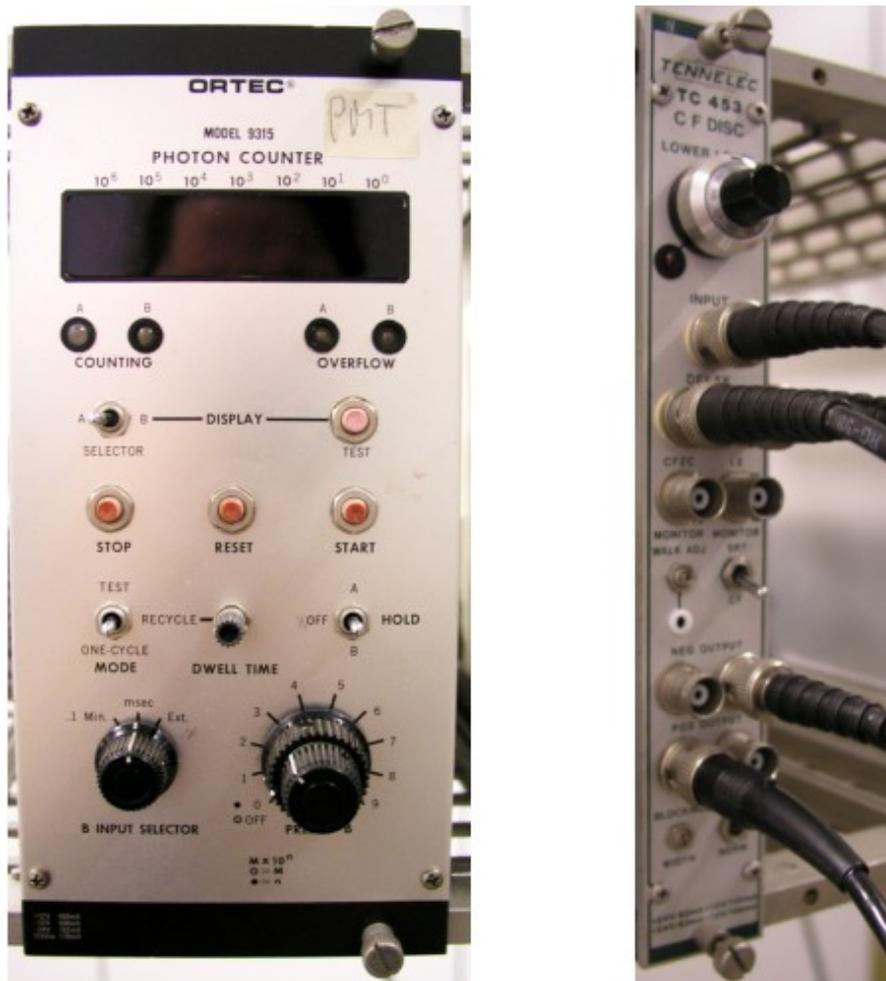


Abb. 5: Zähler (rechts) und Diskriminator

Die Messbaren TTL-Pulse haben eine Dauer von ca. 40 ns und das Oszilloskop eine Auflösung von 10.000 Punkten. Die Zeitskalierung sollte dementsprechend gewählt werden, da sonst nicht alle Pulse sichtbar sind. Bei einer Einstellung von $20\mu\text{ s}$ werden 2 Pulse, die einen Abstand $< 200\text{ ns}$ haben, nicht mehr als einzelne Peaks dargestellt.

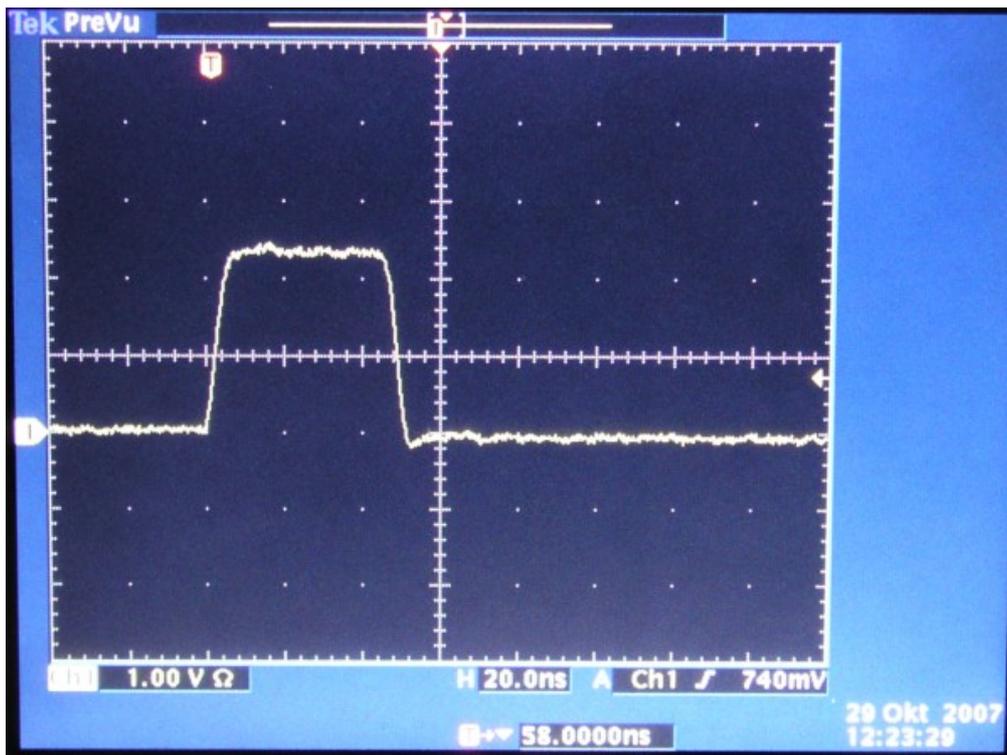


Abb. 6: Einzelner TTL-Puls

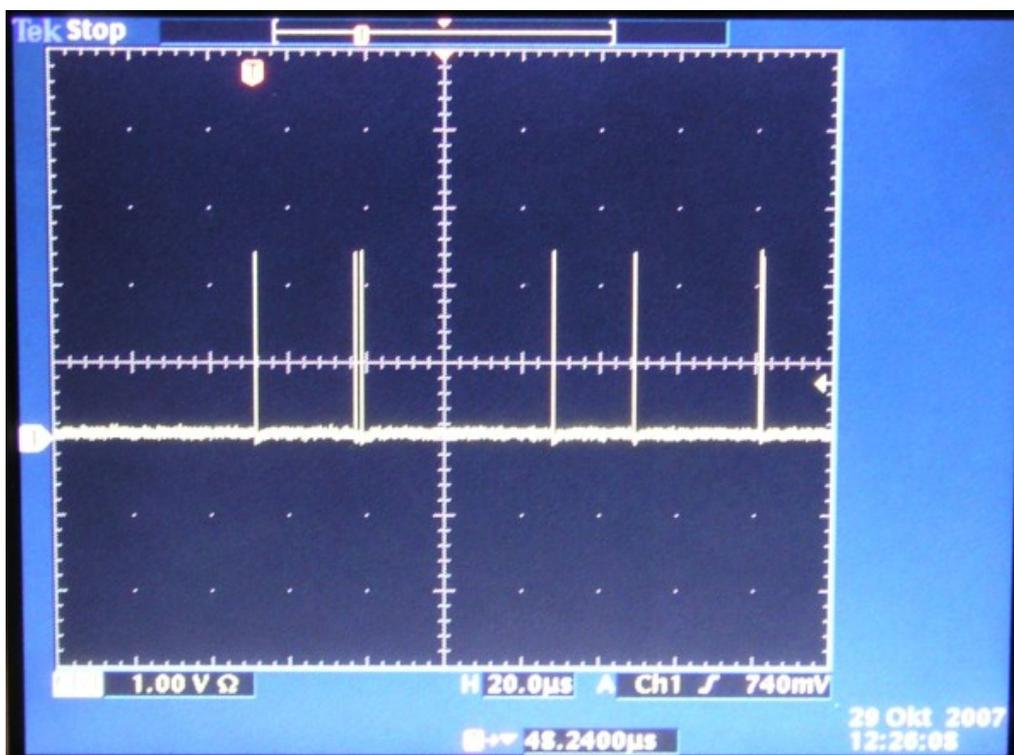


Abb. 7: „Abzählbare Photonen“

Bemerkungen:

Die Beschreibung von Licht als Welle lässt sich anhand der Messung von Intensitätsverhalten bei Abschwächung einer Bestrahlungsstärke veranschaulichen. Die messbare Amplitude (das Amplitudenquadrat von $E = A e^{i(\omega t - kx)}$) verhält sich kontinuierlich. Das Modell ist für vielerlei physikalische Anwendungen passend und Bestandteil der E-dynamik und Optik Vorlesung.

Bei weiterer Abschwächung und Übergang zur Detektion mit einem Photomultiplier passiert etwas neues, einzelne „Ereignisse“ werden sichtbar, die bisherige Darstellung wird unbrauchbar und die Beschreibung des Versuchsergebnis muss mit Quantenmechanischen Methoden erfolgen.

An das Experiment knüpft sich noch die Erklärung der Poisson-Statistik da die Pulse „seltene“ Ereignisse sind und in nicht vorhersagbaren Abständen eintreten. Die Poisson Statistik lässt sich mathematisch aus der Binominalverteilung ableiten, sie ist sozusagen ein Spezialfall für kleine Wahrscheinlichkeiten gegen die Dauer der Messung. Sie findet außerdem in der Beschreibung des radioaktiven Zerfalls Verwendung. Für eine größere Anzahl der Ereignisse geht sie in die Gaußsche Normalverteilung über.

Zeitaufwand für die Vorführung ca. 10 -15 min, da in diesem Zusammenhang noch auf die Funktionsweise eines Photomultipliers eingegangen werden sollte und die Einzelnen Komponenten des Versuchs evtl. Erläuterungen benötigen.

Die nicht vorrätigen Komponenten sind sämtlich in der AG Ultraschnelle Nano-Optik ausleihbar.