

## **Laborheft Grundlagen der Quantenoptik**

**Name:**

**Datum:**

**Partner:**

**Stationsreihenfolge:**

**Schule:**

**Betreuer der Uni:**

### **Sicherheitshinweise zum Laborbesuch:**

Im Labor arbeitest Du mit Lasern (<1mW), die bei falschem Umgang zu Augenschäden führen können. Folgende Regeln dienen Deiner eigenen Sicherheit während des Laborbesuches. Die Regeln müssen unbedingt eingehalten werden – bei Nichtbeachtung musst Du das Labor verlassen. Bitte bestätige mit Deiner Unterschrift, dass Du die Regeln gelesen hast und anwenden wirst.

- Du darfst niemals direkt in den Laserstrahl schauen.
- Deine Augen sollten sich niemals auf der Höhe des optischen Tisches befinden. Schau immer schräg von oben auf das Experiment.
- Wegen der Reflexion des Laserlichtes darfst du an den Händen keine Ringe, keine Armbänder und keine Armbanduhr tragen. Lange Halsketten solltest du ebenfalls ablegen.
- Der Laserstrahl darf beim Experimentieren niemals über den eigenen optischen Tisch hinaus leuchten. Hierfür befinden sich bei jeder Station ausreichend schwarze und weiße Karten zum Abfangen des Laserstrahls.
- In das Labor dürfen keine Getränke und keine Nahrungsmittel mitgenommen werden.

Ich habe die Sicherheitshinweise gelesen und werde diese anwenden.

---

Unterschrift Schüler

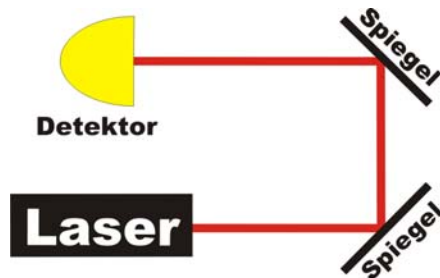
Deine Jacke und Deine Tasche kannst du zusammen mit deinem Schmuck in ein Schließfach (2€ Pfand) vor dem Labor einschließen. Für die Experimente im Schülerlabor benötigst du nur dieses Laborbuch und einen Stift. Der Laborbesuch dauert ca. 3-4 Stunden. Es werden zwei Pausen gemacht, in denen Du etwas essen und trinken kannst. Ein Süßigkeiten- und Getränkeautomat ist vorhanden. Zur Vorbereitung auf den Laborbesuch solltest Du auf der Homepage [www.QuantumLab.de](http://www.QuantumLab.de) den Aufbau der einzelnen Stationen durchgehen und Notizen in deinem Laborheft bei der jeweiligen Station machen.

## Station 1: „musikalische“ Lichtleiter

**Aufgabe:** Rotes Laserlicht soll in ein Glasfaserkabel eingekoppelt werden. Das Glasfaserkabel hat einen Durchmesser von nur 0,005mm. Mit dem fertigen Aufbau wird die Musik eines mp3 Players mit Hilfe von Licht übertragen. Du kannst Deinen eigenen mp3 Player mitbringen.

**Anwendung:** Überall wo Glasfaserkabel zur Anwendung kommen, muss das Licht zunächst in das Glasfaserkabel eingekoppelt werden. Die Übertragung von Information mit Hilfe von Licht (z. B. Musik, Fernsehprogramme, Telefongespräche) ist heute ein technischer Standard.

**Skizze des Experimentes:**



**Hausaufgabe:** Kurze Notizen zum Aufbau mit Hilfe der Animation auf der Homepage. Die gleiche Aufbauanleitung ist noch einmal bei der Station vorhanden.

**Daten aus dem Experiment:**

Leistung nach dem Glasfaserkabel <b>nach</b> Optimierung mit dem Messgerät *)	
Übertragung der Musik durch die Glasfaser erfolgreich?	
Übertragenes Musikstück und Interpret:	
Zusatzaufgabe I: Lichtverlust in %.	
Zusatzaufgabe II: Leistung durch gelbes Glasfaserkabel:	

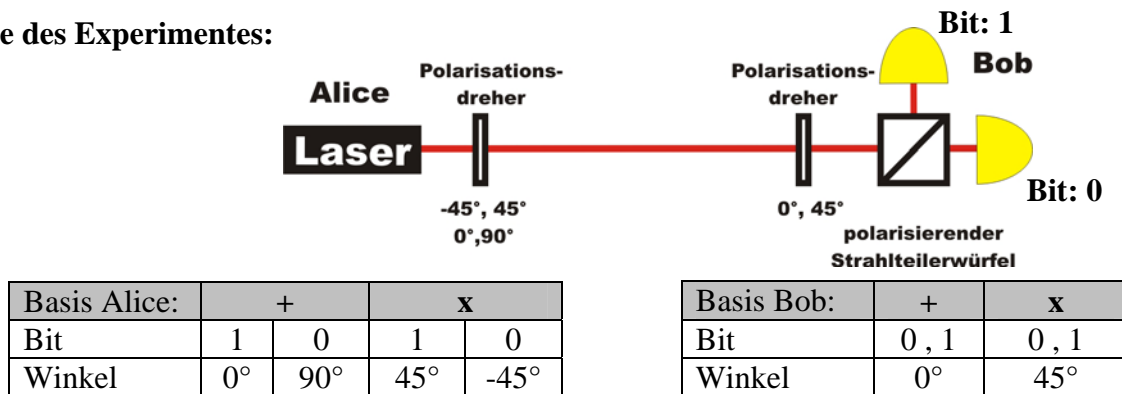
\*) Es gibt einen Wettbewerb, welche Gruppe Deiner Klasse am meisten Leistung eingekoppelt hat. Wenn Du den besten Wert gefunden hast, dann bittet Euren Betreuer diesen Wert in die Liste „Klassenrekord“ einzutragen. Vielleicht schaffst es Du auch in die „TOP 10“ Liste?

## Station 2: Quantenkryptographie

**Aufgabe:** Mit einem Quantenkryptographiesystem sollen Alice und Bob einen geheimen Schlüssel erzeugen. Mit diesem Schlüssel soll im Anschluss eine Nachricht, die aus 4 Buchstaben besteht, verschlüsselt und sicher übertragen werden

**Anwendung:** Bei der Regierung, in der Wirtschaft und beim Militär besteht großes Interesse Nachrichten mit einer 100% Sicherheit übertragen zu können. Nur die Quantenkryptographie bietet diese hohe Sicherheit. Systeme zur Quantenkryptographie werden z. B. in der Schweiz zur Übertragung von wichtigen Wahlergebnissen eingesetzt.

**Skizze des Experimentes:**



**Hausaufgabe:** Das Experiment ist schon fast fertig aufgebaut. Es muss nur noch die Station von Bob aufgebaut werden. Eine genaue Anleitung ist dazu an der Station vorhanden. Bitte schau Dir das Prinzip der Quantenkryptographie z. B. auf der Homepage [www.QuantumLab.de](http://www.QuantumLab.de) noch einmal an.

### Schlüsselerzeugung

- Schritt 1: Schlüssel erzeugen: Einzelne Bits übertragen (ca. 52 Bit). Die Einstellungen der Polarisationsdreher unabhängig und möglichst zufällig voneinander wählen. Tabelle auf nächster Seite getrennt für Alice und Bob ausfüllen.
- Schritt 2: Falsche Messbasen durch Kommunikation zwischen Alice und Bob durchstreichen. Bei der Kommunikation nur die verwendeten Messsysteme + oder x verraten, nicht die übertragenen Bits 1 oder 0.
- Schritt 3: Einen Lauscher ausschließen. Hierzu 5 Bits auf Fehler überprüfen, bei denen die Basis und somit das übertragene Bit eigentlich übereinstimmen müssten. Mit Alice bzw. Bob vereinbaren, welcher Puls überprüft wird.

Der Schlüssel ist nun fertig erzeugt und auf Lauscher geprüft. Nun beginnt die eigentliche Verschlüsselung mit dem One-Time Pad und der binären Addition.

### Nachrichtenübermittlung – erst Alice und dann Bob:

- Schritt 4: Die eigentliche Nachricht besteht aus einem Wort mit 4 Buchstaben. Alice wählt nun die 4 Buchstaben und übersetzt diese mit der Tabelle in Binärzahlen.
- Schritt 5: Alice addiert die Nachricht und den Schlüssel binär ( $1+0=1$ ,  $1+1=0$ ,  $0+0=0$ ).
- Schritt 6: Die Nachricht ist verschlüsselt und kann an Bob öffentlich mitgeteilt werden.
- Schritt 7: Bob addiert die Nachricht wieder binär mit der Tabelle.
- Schritt 8: Bob übersetzt die binären Zahlen in Buchstaben und hat die originale Nachricht

Übertragungsprotokoll von \_\_\_\_\_

Schritt 1		
Puls	Basis + , x	Bit 1, 0
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42		
43		
44		
45		
46		
47		
48		
49		
50		
51		
52		
53		

Schritt 3: Überprüfung auf Lauscher					
Puls	Basis Alice	Bit Alice	Basis Bob	Bit Bob	Übereinstimmung

Alice: Schritt 4 Bob: Schritt 8						
Übersetzung						
A	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	1
C	0	0	0	0	1	0
D	0	0	0	0	1	1
E	0	0	1	0	0	0
F	0	0	1	0	0	1
G	0	0	1	1	0	0
H	0	0	1	1	1	0
I	0	1	0	0	0	0
J	0	1	0	0	0	1
K	0	1	0	1	0	0
L	0	1	0	1	1	0
M	0	1	1	0	0	0
N	0	1	1	0	0	1
O	0	1	1	1	0	0
P	0	1	1	1	1	0
Q	1	0	0	0	0	0
R	1	0	0	0	0	1
S	1	0	0	1	0	0
T	1	0	0	1	1	0
U	1	0	1	0	0	0
V	1	0	1	0	0	1
W	1	0	1	1	0	0
X	1	0	1	1	1	0
Y	1	1	0	0	0	0
Z	1	1	0	0	0	1

Beispiel für Schritt 5 bei Alice: von oben nach unten						
1. Buchstabe						
Start: L						
Nachricht	0	1	0	1	1	
Schlüssel	0	0	1	1	0	
geheim:	0	1	1	0	1	

Beispiel für Schritt 7 bei Bob: von unten nach oben						
1. Buchstabe						
Ergebnis: L						
Nachricht	0	1	0	1	1	
Schlüssel	0	0	1	1	0	
geheim	0	1	1	0	1	

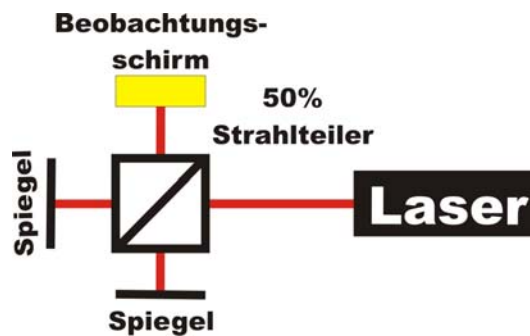
Alice: Schritt 5, Bob: Schritt 7						
1. Buchstabe						
Nachricht						
Schlüssel						
Addition						
2. Buchstabe						
Nachricht						
Schlüssel						
Addition						
3. Buchstabe						
Nachricht						
Schlüssel						
Addition						
4. Buchstabe						
Nachricht						
Schlüssel						
Addition						

### Station 3 a: Interferenz und Prinzip des Quantenradierers

**Aufgabe:** Baue ein Interferometer auf und untersuche mit diesem Interferometer das Prinzip des Quantenradierers.

**Anwendung:** Interferometer werden in der Industrie zum exakten Vermessen von Oberflächen verwendet. Interferometer mit einzelnen Photonen können in der Quantenkryptographie eingesetzt werden. Der Quantenradierer ist ein Phänomen der Quantenwelt, das nicht erklärt werden kann.

**Skizze des Experimentes:**



**Hausaufgabe:** Kurze Notizen zum Aufbau mit Hilfe der Homepage.  
Wiederhole bitte noch einmal das Prinzip des Interferometers und das Prinzip des Quantenradierers.

**Beobachtungen aus dem Experiment:**

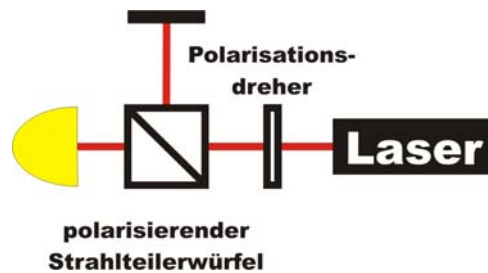
Interferenzbild mit dem Zentrum in der Mitte hergestellt?	
Anzahl der Ringe im Interferenzmuster?	
Wurde mit Wegmarkierung ein Verschwinden der Interferenz gezeigt?	
Funktioniert der Quantenradierer auf den beiden Beobachtungsschirmen?	

### Station 3 b: Polarisation und das Gesetz von Malus

**Aufgabe:** Die Polarisationsabhängigkeit soll bei einer Kombination aus einem polarisierendem Strahlteilerwürfel und einem Polarisationsdreher untersucht werden. Mit den aufgenommenen Zahlenwerten soll ein Graph erstellt werden. Schau dir zunächst die 4 Graphen auf dem Tisch an und entscheide, welcher durch die Messung heraufkommt. Für die Messung muss die Intensität des Raumlichtes ohne den Laser erfasst werden (Spalte: R). Dieser Wert wird im Graph von allen Zahlenwerten abgezogen (Zeile: Abziehen -).

**Anwendung:** Polarisation ist eine Grundlage der Physik. Mit Hilfe der Polarisation werden z. B. bei der Quantenkryptographie Daten übertragen. Das Gesetz zur Polarisationsabhängigkeit wird nach dem Entdecker Étienne Louis Malus (1775-1812) benannt.

**Skizze des Experimentes:**



**Vermutung:** Durch die Messung ergibt sich Graph Nr. \_\_\_\_\_ Skizze:

**Daten aus dem Experiment:**

Polarisator	R	0°	4°	8°	12°	16°	20°	24°	28°	32°	36°	40°	44°
Intensität													
Abziehen R													
Polarisator	48°	52°	56°	60°	64°	68°	72°	76°	80°	84°	88°	92°	
Intensität													
Abziehen R													

