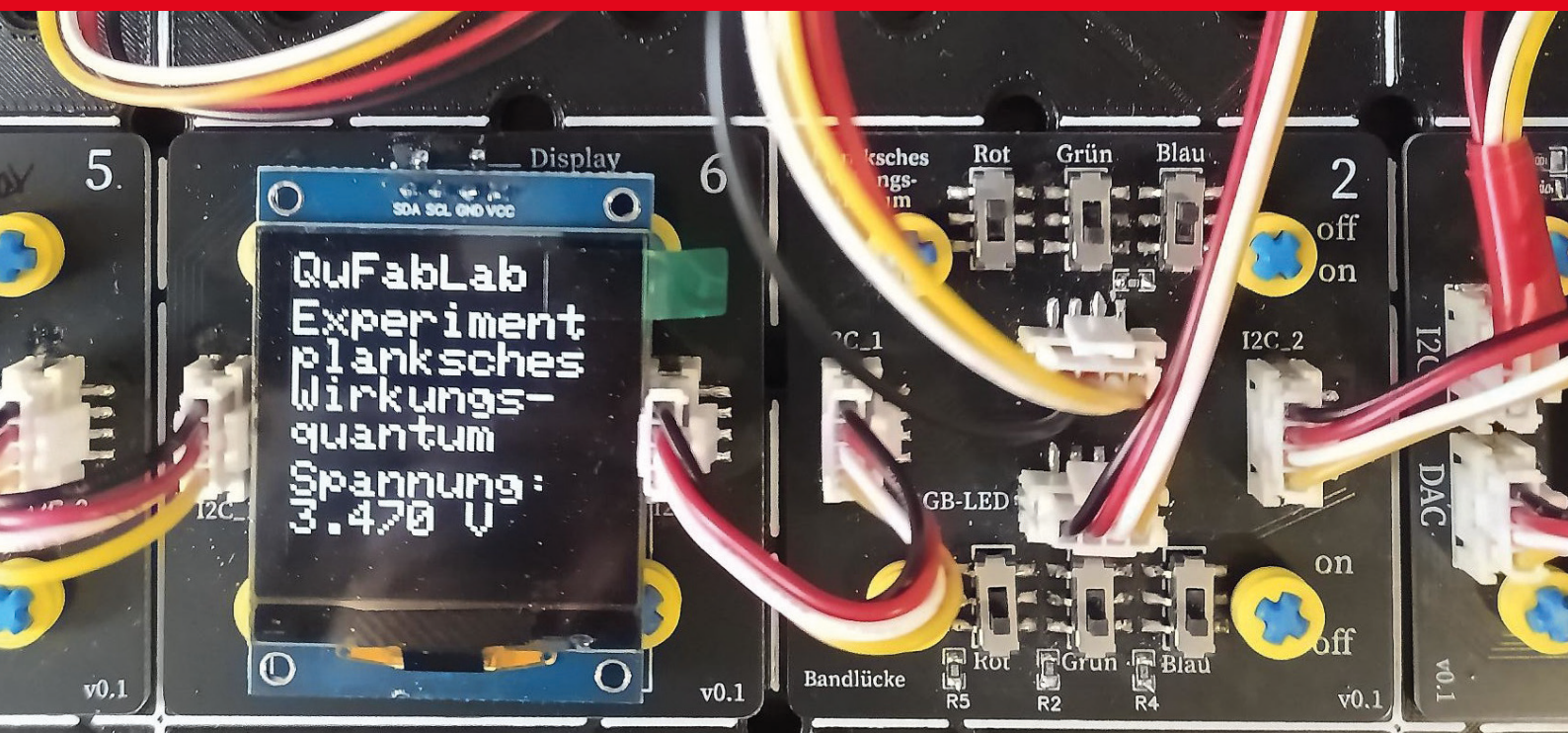


DIY-Quantenexperimente

Plancksches Wirkungsquantum



Anleitung zum Versuchsaufbau

Michael Bennemann (2026, v0.1)

[illegible]

Exkurs: Was bedeutet diese Zahl?

Mit dem Planckschen Wirkungsquantum (h) kann man zum Beispiel bestimmen wie viel Energie ein einzelnes Photon hat. Um nicht immer so viele Nullen schreiben zu müssen kann man die Zahl auch folgendermaßen schreiben: $6.62607015 \times 10^{-34}$. Die $\times 10^{-34}$ gibt an, dass vor der angegebenen Zahl 34 Nullen hinzuzufügen sind, um sie auszuschreiben. Die Energie (E) eines Photons wird berechnet aus dem Planckschen Wirkungsquantum (h) multipliziert mit der Frequenz des Lichtes (f) des Photons ($E = h \times f$). Die Frequenz (f) des Photons kann man berechnen, indem man die Lichtgeschwindigkeit durch die Wellenlänge des Photons teilt. Die Lichtgeschwindigkeit (c) beträgt $2,998 \times 10^8$ m/s. Die $\times 10^8$ gibt an, dass das Komma um 8 Stellen nach rechts verschoben werden muss, um die Zahl auszuschreiben. Licht bewegt sich also wahnsinnig schnell. Rotes Licht mit einer Wellenlänge von 650 nm schwingt somit mit einer Frequenz von etwa $4,6 \times 10^{14}$ Hz. Energie hat die Einheit Joule (abgekürzt mit J). Eine Frequenz wird angegeben in 1 pro Sekunde. Diese Einheit (1 pro Sekunde) nennt man auch Hertz (abgekürzt Hz). Ein rotes Photon hat damit eine Energie von etwa 3×10^{-19} J. Um 1 Liter Wasser um 1°C zu erwärmen braucht man etwa 4000 Joule. Man bräuchte also die Energie von $1,3 \times 10^{22}$ roten Photonen um 1 Liter Wasser auf 1°C zu erwärmen. Die Energie in einem einzigen Photon ist also winzig. Das Plancksche Wirkungsquantum hat die Einheit Js (Joule mal Sekunde). Wenn man h [Js] mit der Frequenz [1/s] multipliziert kann man beide s (Sekunde) kürzen und es bleibt nur noch Joule übrig.

Photonen einer bestimmten Wellenlänge haben immer dieselbe Energie. Durch Licht dieser Wellenlänge kann nicht weniger Energie als die Energie eines Photons übertragen werden. Das bedeutet, dass nicht nur Materie quantisiert ist, sondern auch Energie. Sowohl Materie als auch Energie können also nicht in kleinere Pakete verpackt werden als einzelne Quanten (hier Photonen) bzw. deren zugehörige Energie.

Das Plancksche Wirkungsquantum kann man mit einfachen Mitteln bestimmen. Dazu muss man LEDs mit unterschiedlichen Farben so mit Strom versorgen, dass sie nur gerade eben leuchten. Dann misst man die Spannung, die unter diesen Bedingungen durch die LED fließt. Trägt man nun die Frequenz der Photonen gegen die gemessene Spannung auf, kann man das Plancksche Wirkungsquantum näherungsweise bestimmen.

In dem Versuch Bandlücke können Sie nachvollziehen, dass Licht verschiedener Wellenlängen unterschiedlich viel Energie hat. Dies können Sie auch in diesem Experiment beobachten, da LEDs mit unterschiedlichen Farben unterschiedlich viel Spannung brauchen um zu Leuchten.

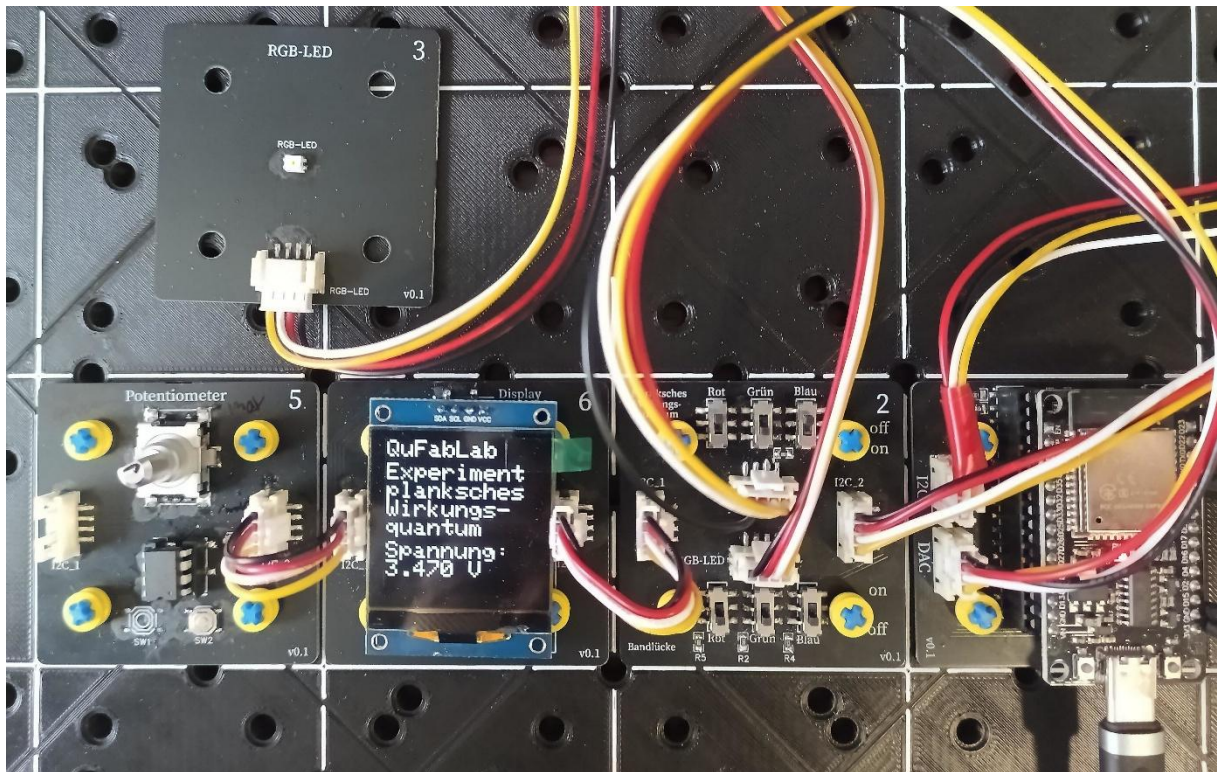


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantum.

Zur Durchführung des Versuches zur Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantum brauchen Sie unsere Platinen 1, 2, 3, 5, 6, und 8. Zusätzlich zu den bestückten Platinen brauchen Sie noch einen ESP32 WROOM mit 30 Pins, ein I2C Display und einen Attiny85.

Vorgehensweise

1. Verbinden Sie die Platine 1 mit dem ESP-Mikrocontroller mit einem vieradrigen Kabel mit der Platine 2 für den Versuch des Planckschen Wirkungsquantum (und der Bandlücke).
2. Verbinden Sie diese Platine über den zweiten vieradrigen Stecker mit der Platine 6 mit einem Display.
3. Verbinden Sie diese Platine wiederum mit der Platine 5 mit einem Potentiometer. Die Reihenfolge der Platinen ist nicht wichtig. Sie können die Reihenfolge nach Belieben verändern.
4. Verbinden Sie den Stecker DAC auf Platine 1 mit dem Stecker DAC auf Platine 2.
5. Schließen Sie an Platine 2 bei dem Stecker RGB-Led eine Platine 3 mit einer RGB-Led an.
6. Schieben Sie den Schalter bei „ROT“ bei den drei Schalter auf der Platine 2 im Bereich für das Plancksche Wirkungsquantum (oben im Bild) auf on und die anderen zwei Schalter (Grün und Blau) auf off. Die unteren drei Schalter auf der Platine 2 für das Bandlückenexperiment (unten im Bild) müssen auf off geschaltet sein.
7. Laden Sie mittels der Platine 8 den Code für die Platine 5 auf den Attiny85. Stecken Sie danach den Attiny85 auf die Platine 5. Achten Sie bei beiden Platinen auf die Orientierung des Attiny85. In Kürze wird eine Platine verfügbar sein, die ohne Attiny85 auskommt.

8. Laden Sie bei der ersten Nutzung den Code für die Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantum auf den Esp. Bei späterer Benutzung können Sie den ESP über den USB-C Stecker mit einem 5V Netzteil verbinden und brauchen keinen Rechner mehr.
9. Drehen Sie das Potentiometer im Urzeigersinn bis zum Anschlag. Die LED sollte jetzt gut sichtbar rot leuchten und auf dem Display sollte der Text stehen, der in Abb. 1 auf dem Display zu sehen ist.
10. Stecken Sie nun das schwarze 3D gedruckte Röhrchen über die LED und drehen Sie an dem Potentiometer bis Sie die LED gerade eben noch leuchten sehen. Tun Sie dies am besten in einem abgedunkelten Raum.
11. Drücken Sie nach der Einstellung des Potis auf den Taster Sw3 auf Platine 5. Die Anzeige des Displays ändert sich und Sie werden durch den weiteren Versuch geführt.
12. Drücken Sie erneut den Taster Sw3. Dadurch wird die gemessene Spannung für die rote LED gespeichert.
13. Schalten Sie nun die rote LED aus und die grüne LED an und stellen Sie das Potentiometer erneut so ein, dass sie die LED gerade eben noch leuchten sehen.
14. Drücken Sie wieder auf den Taster Sw3 und wiederholen Sie den Vorgang für die blaue LED.
15. Nach dem letzten Tastendruck wird automatisch aus den ermittelten Spannungswerten das Plancksche Wirkungsquantum berechnet und angezeigt.
16. Alternativ können Sie das Plancksche Wirkungsquantum auch selbst berechnen. Notieren Sie sich dazu die angezeigten Spannungswerte während den Messungen bei minimal leuchtenden LEDs und tragen Sie die Spannungswerte gegen die Frequenz der Farben in einer Excel-Tabelle ein. Tragen Sie die Werte am besten ohne den Multiplikator 10^{-14} ein. Lassen Sie sich von Excel die Ausgleichsgerade und deren Formel anzeigen. Multiplizieren Sie die Steigung in der Formel mal $1,6 \cdot 10^{-33}$. Das Ergebnis entspricht dem näherungsweise bestimmten Planckschen Wirkungsquantum. Das Vorgehen wird im nachfolgend detaillierter beschrieben:

Die Wellenlängen der RGB-Leds und die zugehörigen Frequenzen sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1: Wellenlängen der RGB-Leds.

Lichtfarbe	Wellenlänge [nm]	Frequenz [Hz]	Frequenz [Hz * 10^{14}]
Rot	621	4.82754E+14	4.82753623
Grün	520	5.76519E+14	5.76519231
Blau	465	6.4471E+14	6.44709677

Aus der Wellenlänge kann man berechnen, wie schnell das Licht einer bestimmten Farbe schwingt. Die Formel dazu lautet: $f = 2.9979 \cdot 10^{17} / \text{Wellenlänge in nm}$. Teilt man diese Zahl durch 10^{14} kann Excel besser mit den Zahlen rechnen.

Tragen Sie nun die Zahlen aus der ganz rechten Spalte aus Tabelle 1 gegen die gemessenen Spannungen auf:

Tabelle 2: Beispiele für gemessene Spannungen für die unterschiedlichen Farben.

Lichtfarbe	Frequenz [Hz * 10 ¹⁴]	Gemessene Spannungen - beispielhaft [V]
Rot	4.82753623	1.3900
Grün	5.76519231	1.8200
Blau	6.44709677	2.1480

Übertragen Sie die Tabelle 2 in Excel und tragen Sie in die Spalte mit den gemessenen Spannungen Ihre Spannungen ein.

Markieren Sie nun die Zahlen bei Frequenz und Spannung indem Sie die linke Maustaste drücken, ein Rechteck über die Zahlen ziehen und dann die Maustaste wieder loslassen. Klicken Sie nun in Excel oben auf Einfügen und dann auf „Empfohlene Diagramme“. Wählen Sie das erste Diagramm aus, welches Ihnen angezeigt wird. Es sollte nun ein Diagramm wie in Abb. 2 zu sehen in Ihrer Excel Tabelle eingefügt worden sein:

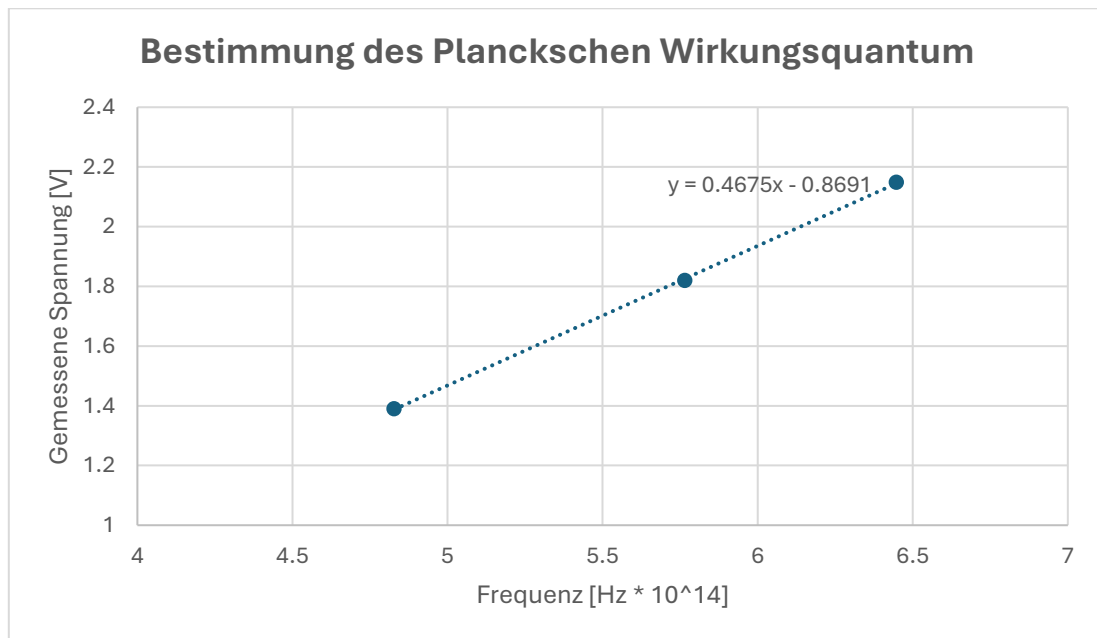


Abbildung 2: Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantum mittels einer Exceltabelle.

Klicken Sie nun mit der linken und dann mit der rechten Maustaste auf einen der Punkte in dem Diagramm und wählen Sie „Trendline hinzufügen“.

Klicken Sie in dem sich öffnenden Fenster auf „Formel im Diagramm anzeigen“. Die Zahl, die in der Formel vor dem x steht, ist die Steigung der Geraden. Um das Plancksche Wirkungsquantum auszurechnen, müssen Sie diese Zahl mal $1,6 \cdot 10^{-33}$ ($10^{-14} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$) rechnen:

Mit den beispielhaft ermittelten Werten kommen Sie auf einen Wert von **$7,48 \times 10^{-34}$** .

Dieser liegt ziemlich nahe an dem eigentlichen Wert des Planckschen Wirkungsquantum von: **$6,62607015 \times 10^{-34}$**

Projektpartner



Gefördert durch:

