

UZH - Weiterbildung für Lehrpersonen an Maturitätsschulen

# Elemente der Quantenphysik an Maturitätsschulen

Unterrichtsvorschläge und ein Seitenblick auf die Klimaphysik

## Quantenphysik im gymnasialen Alltag



Hans Peter Dreyer



# Wo stehen wir? - Überblick

Modul 1	Was ist Licht?
Modul 2	Wo ist das Elektron?
Verknüpfung	Klima & Quanten



## Quantenphysik im gymnasialen Alltag: «Normalbetrieb» und Ergänzungen

- 1) Zeitplanung
- 2) Experimente
- 3) Aufgaben
- 4) Klausuren und andere Lernkontrollen
- 5) Reflexionen
- 6) Einsatz von Lernjournal, Zeichnungen und Fragebogen
- 7) Binnendifferenzierung mit PANORAMA und MINT

**Ausblick** Mehr Quantenphysik für Ergänzungs- und Schwerpunktfach



Unser wichtigstes Zielpublikum: **Die 70% Nicht-MINT-Lernenden, die zu 70% weiblich sind!**



20 Lektionen

Wir müssen uns die Zeit nehmen, dass wir so unterrichten können,  
dass viele von ihnen am Schluss des Gymnasiums ein positiveres Bild von der Physik weitertragen.



# 1) Vorschlag für die Zeitplanung

10./11. Klasse	11./12. Klasse	12. Klasse	Ergänzungsfach
Im obligatorischen Grundlagenfach: gymnasiale Quantenphysik			freiwillig (48 Lektionen)
«minimal» 8 Lekt.		«ideal» 24-30 Lektionen	
«real» 12-20 Lektionen			
<b>Modul 1</b>	<b>Modul 2</b>	<b>Modul 3</b>	<b>(Modul 4)</b>
Was ist Licht?	Wo ist das Elektron?	Wie ist die Quantenwelt?	(QM light)
Einfaches zum Licht	Einfaches zur Materie	anspruchsvollere QP	(systematische QP)
Aktivitäten 1	Aktivitäten 2	Aktivitäten 3	(Ziel: Anschluss an Hochschule)
	NoS-Ergänzungen		
	MINT-Ergänzungen		

Fig. 1. FACETTEN DER QUANTENPHYSIK für Grundlagen- und Ergänzungsfach



# Zeitplanung mit Klimaphysik

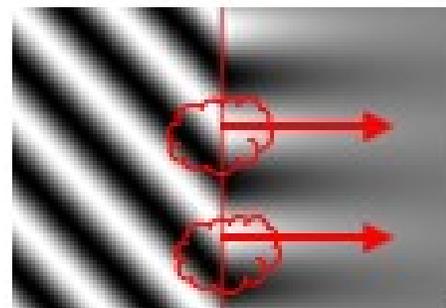
10. Klasse	11. Klasse	12. Klasse	Ergänzungsfach
Im obligatorischen Grundlagenfach: gymnasiale Quantenphysik			freiwillig (48 Lektionen)
«minimal» 8 Lekt.	«normal» + 9 Lektionen	«ideal» +10 Lektionen	
<b>Modul 1</b>	<b>Klimaphysik</b>	<b>Modul 2</b>	<b>Modul 3</b>
Was ist Licht?	Erde im Strahlungsgl.gw.	Wo ist das Elektron?	Wie ist die Quantenwelt?
Einfaches zum Licht	Ww. Strahlung-Materie	Einfaches zur Materie	anspruchsvollere QP
Aktivitäten 1	Fächerübergreifendes	Aktivitäten 2	(Ziel: Anschluss an Hochschule)
	NoS-Ergänzungen		
	MINT-Ergänzungen		

Fig. 2. ELEMENTE DER QUANTENPHYSIK & KLIMAPHYSIK für Grundlagen- und Ergänzungsfach



# VORAUSSETZUNG FÜR MODUL 1:

## *Qualitative* Vorstellungen zu Wellenvorgängen



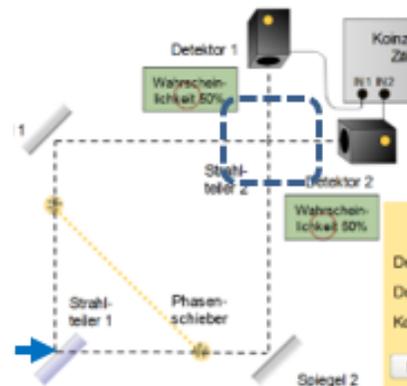
### Wellenerscheinungen:

*Spiegelung, Beugung,  
Überlagerung, Doppelspalt*  
für Modul 2:  
*Tunneleffekt*



ergänzend: elektromagn. Wellen:

- $c$  bei allen Wellen
- $\lambda$  anschaulich;  $f$  abstrakt



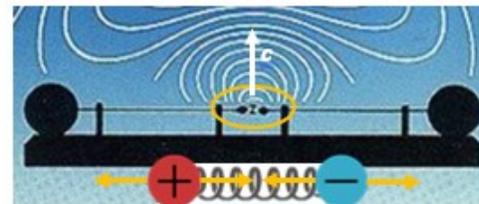
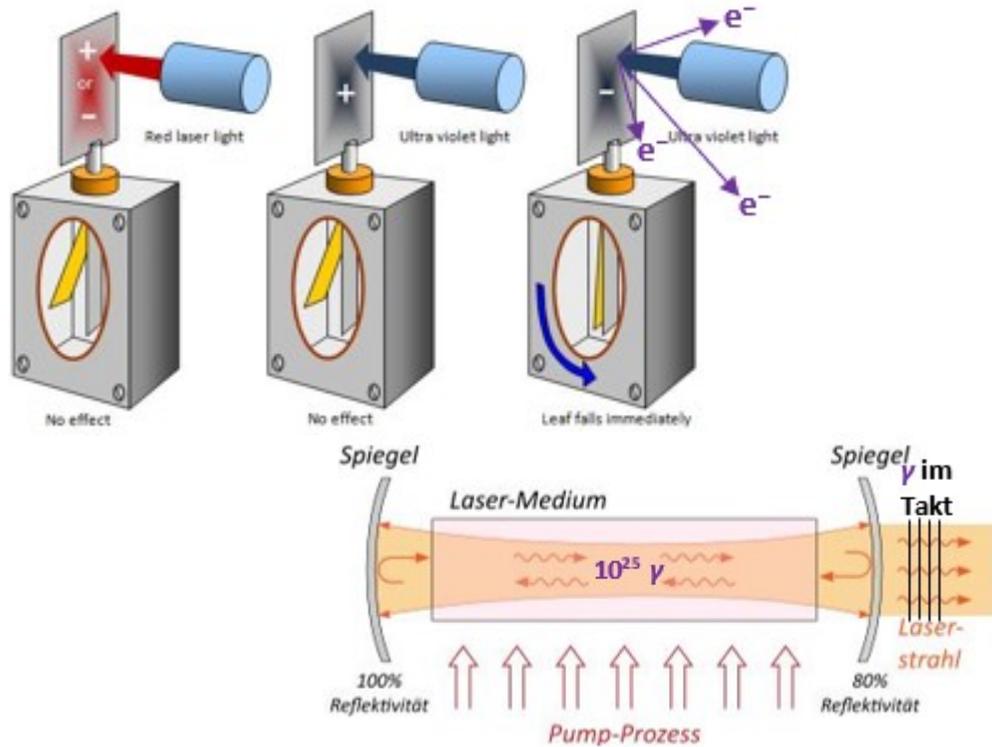
mögliche Vertiefung:

*Mach-Zehnder-Interferometer  
nur mit Simulationen!*



## 2) Demonstrations-Experimente

zum Modul 1



**zentral = Photoeffekt!**

evtl. Ergänzen mit Daten aus  
Solaranlage  
evtl. Schülerexperiment mit  
Solarzelle

**Vertiefung:**  
Gaslaser

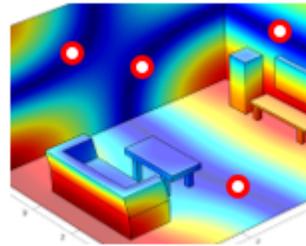
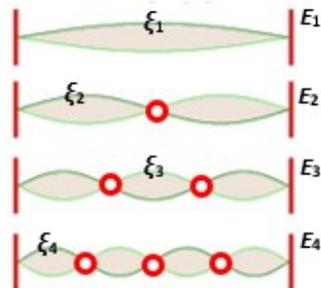
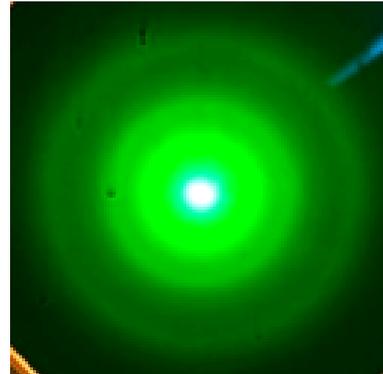
**Weglassen:**  
Planck / Taylor / Duane-Hunt

**Evtl. neu oder zur Repetition:**  
Hertz-Sender / Mikrowellen



# Demonstrations-Experimente

zum Modul 2



1-dim: Seil  
2-dim: Chladni  
3-dim: Schall

**zentral:**

- Wasserstoffspektrum
- Elektronenbeugung

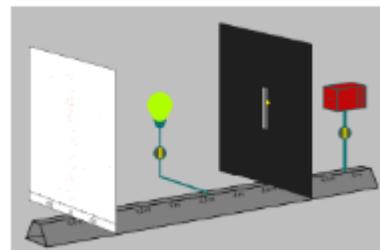
evtl. Ergänzen mit Daten aus IR-Spektroskopie (Chemie)

**Vertiefung:**

Schwingung = stehende Welle

**Weglassen:**

Franck-Hertz / Compton



**Simulationen!!!**

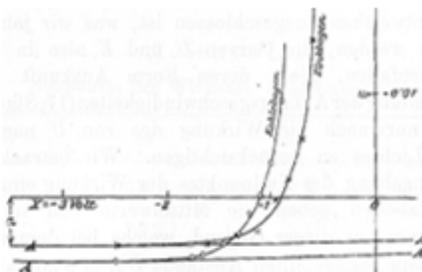


# Schüler-Experimente qualitativ

## AKTIVITÄTEN zum Modul 1

**UMFELD:** Philipp Lenard war Professor in Kiel, als er die Experimente zum lichtelektrischen Effekt durchführte, die Albert Einstein später mit den Lichtquanten erklären konnte. Lenard benützte verschiedenfarbiges Licht um den Effekt bei verschiedenen Stoffen zu untersuchen. Nebenan steht eine Abbildung aus jener Zeit. Im einfachen Experiment von 1.3 gibt es nur rotes oder ultraviolettes Licht und nur das Material Zink.

Der Amerikaner Robert Andrews Millikan ist durch die Bestimmung der elektrischen Elementarladung mit Öltröpfchen bekannt, für die er den Physik-Nobelpreis erhielt. Millikan hat auch Einsteins Beziehung (1.2) mit verschiedenen Lichtarten und Materialien mit grossem Aufwand im Vakuum untersucht, bestätigt und dabei den Wert von  $h$  genau bestimmt. Doch das überzeugte ihn nicht von der Richtigkeit der Lichtquantenhypothese. Auch er wollte jahrelang nicht an die Körnigkeit des Lichts glauben!



**EXPERIMENT:** Das LEGO-LED-Spektrometer nach Klemens Koch ([www.vsn-shop.ch/produkte](http://www.vsn-shop.ch/produkte)) ermöglicht Erzeugung und Verwandlung von verschiedenfarbigem, sichtbarem Licht bequem zu verfolgen. Die Dinger, in denen die Elementarprozesse «Erzeugung von Licht» und «Verwandlung von Licht» geschehen, sind Leuchtdioden. Sie sind im Innern wesentlich komplexer als eine Zinkplatte, aber von Bedeutung ist nur, dass es in ihnen Elektronen in Energiestufen hat. Die LEDs müssen immer in Serie mit einem Widerstand an die elektrische Quelle (z. B. 9 V-Batterie) angeschlossen werden, damit kein zu grosser Strom fliesst. Am langen Draht ist der +Pol anzuschliessen.



(1) Wir **erzeugen** 7 Sorten Licht mit verschiedenen Farben, also verschiedenen Wellenlängen und Frequenzen. Gemäss (1.2) erzeugen wir damit 7 Sorten Lichtquanten, von den roten Quanten mit wenig Energie bis zu den violetten Quanten mit viel Energie. (2) Wir versuchen, das Licht aller 7 Sorten in 3 verschiedenen LEDs zu **verwandeln**. Wenn das gelingt, können wir mit dem Messgerät ein elektrisches Signal feststellen. Das ist einfacher als die Entladung eines Elektroskops zu beobachten, die immer durch die feuchte Luft gestört wird. Als Messgerät benötigen wir ein Voltmeter mit 3 V Vollausschlag und einem hohen Innenwiderstand.

Information über das Umfeld:  
Millikans Experimente

LEGO-Technik  
attraktiver als LEYBOLD!

Qualitativer Zugang zu  
«Erzeugung und  
Verwandlung» von Licht.



# Schüler-Experimente quantitativ

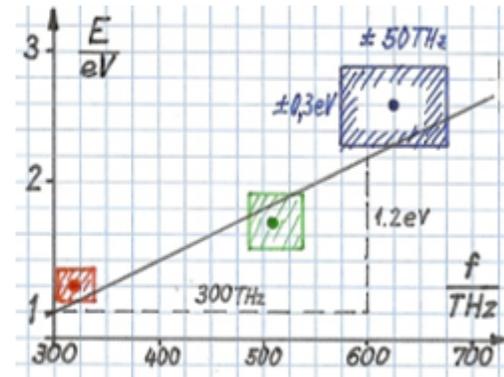
## AKTIVITÄTEN zum Modul 1

(2) Für die **quantitative** Überprüfung von (1.2) sind Messungen nötig. Die Farbe der Leuchtdiode wird durch die Wellenlänge respektive die Frequenz des Lichts gegeben. Wir stützen uns der Einfachheit halber auf die Informationen des Herstellers. Er sagt, die blaue LED leuchte mit  $625 \text{ THz}$ . Weil aber die LED kein Laser ist, strahlt sie mit etwa  $\pm 50 \text{ THz}$  um den Mittelwert herum. Entsprechend schwanken auch die Frequenzen der grünen und der IR-Diode um  $510 \text{ THz}$  resp.  $300 \text{ THz}$ .

Mit dem V-Meter messen wir die Spannung, bei der die Diode zu leuchten anfängt. Das A-Meter hilft uns, diesen Punkt einigermaßen genau zu bestimmen. Die blaue LED beginnt bei  $2.6 \text{ V}$  zu leuchten. Dabei müssen wir eine Schwankung von  $\pm 0.3 \text{ V}$  veranschlagen. Entsprechend liegen die Werte der grünen und der IR-Diode bei  $1.7 \pm 0.2 \text{ V}$  resp.  $1.2 \pm 0.1 \text{ V}$ .

**AUSWERTUNG:** Ausgehend von (1.2) tragen wir die Spannung, bei der das Leuchten einsetzt, als Funktion der Leuchtfrequenz auf. Aus der Spannung schliessen wir direkt auf die Energie, die zur Erzeugung der Lichtquanten nötig ist. Von der Elektrizitätslehre ist die Definition der elektrischen Spannung bekannt:  $U = E/q$ . Daraus wird  $E = qU$ . Durchläuft ein Elektron mit der Elementarladung  $q$  die Spannung  $U = 1 \text{ V}$ , setzt es die Energie  $E = qU = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ V} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1 \text{ eV}$  um. Um den Messpunkt  $[625; 2.6]$  zeichnen wir das Rechteck, in dem der wahre Wert infolge der **unvermeidlichen Messungenauigkeit** schwanken wird. Ebenso das Rechteck für die grüne LED um  $[510; 1.7]$  und dasjenige für die Infrarot-LED um den Punkt  $[320; 1.2]$ .

Einsteins Gleichung (1.2) ist mathematisch gesehen eine lineare Funktion  $y = ax$ . In der Mathematik müssten die drei Messpunkte genau auf einer Geraden liegen. In Realität gibt es noch unbekannte Prozesse und alle Messvorgänge sind nur begrenzt genau. Wir können aber die Gerade so legen, dass sie durch die Rechtecke läuft. In  $E = hf$  ist  $h$  das Steigungsmass. Im eingezeichneten Steigungsdreieck wird  $h = 1.2 \text{ eV} / 300 \text{ THz}$ . Rechnen wir eV in Joule um, erhalten wir  $h = 6.4 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ . Das ist beachtlich nahe beim publizierten Wert. Allerdings fordert die direkte Proportionalität  $y = ax$  eine Gerade durch den Ursprung, während unsere Gerade nebendurch läuft.



Enge Verbindung zur Theorie bei  
 $c = \lambda f$

Berücksichtigung von Messfehlern

Nur grafische Auswertung

Verbindung mit der Theorie

Diskussion der Genauigkeit

Vergleich mit Literaturwert

# 3) Übungsaufgaben mit Kurzlösungen

In den AKTIVITÄTEN



## 1.5) Abstrakte Darstellung des Experiments von Lenard

Erläutern Sie das Ergebnis von Lenards Experiment (Figur 1.4) anhand der Figuren 1.7.

## 1.6) Quantenphysik in der Taschenlampe

Manche Taschenlampen arbeiten mit 9 Volt Batterien. - Wie viele in Serie geschaltete blaue Leuchtdioden können so betrieben werden?

1.6 Figur 1.1: blau  $\Rightarrow 10^{15}$  Hz  $\Rightarrow E = hf = 6.6 \cdot 10^{-19}$  J = 4 eV  $\Rightarrow$  2 blaue LED in Serie

## 2.4) Zum Experiment von Claus Jönsson

- Bestimmen Sie den Sinus des Winkels zwischen der Symmetrieachse und dem ersten Nebenmaximum, wenn Jönssons Elektronen  $c/3$  schnell waren mit den Angaben der Abbildung in 2.3.3.
- In unserem Bild beträgt die Entfernung zwischen Symmetrieachse und erstem Nebenmaximum etwa 4 mm. Wie gross hätte die Entfernung vom Doppelspalt zum Film sein müssen, wenn Jönsson den Film ohne Elektronenmikroskop direkt hätte belichten müssen?
- Was hätte es in der Mitte des Films, wenn Elektronen klassische Kügelchen wären?

qualitative

und

quantitative

Aufgaben

aus Modul 1

quantitative

Kurzlösung

mehrteilige Aufgabe

aus Modul 2



## 4) Leistungsmessung - in der QP etwas anders: Was heisst «verstehen» — auch im Gymnasium?

### Fachwissenschaftler:

Richard Feynman, 1947: *What do I mean by understanding?*

***Nothing deep or accurate*** — just to be able to see some of the qualitative consequences ...

### Physikdidaktiker:

Hoehn & Finkelstein, 2018, Uni Boulder:

*We argue that **the messiness of student reasoning should be valued.***

### Bedenkenswert:

Kurzvorträge, evtl. als Dialog gestaltet, bewerten!



# Klausur als Basis für Notengebung

## 3) Louis de Broglies Wellen

7 Punkte

Ein Helium-Atom hat eine Masse von  $6.64 \cdot 10^{-27}$  kg

- Wie schnell darf es sein, wenn die zugehörige de Broglie-Wellenlänge  $1.0 \cdot 10^{-10}$  m gross ist?
- Man schickt einen Strahl von solchen Atomen durch einen Doppelspalt, dessen Spalten 0.2 mm getrennt sind und misst in 10 m Entfernung hinter dem Spalt. Was beobachtet man auf der Symmetrieachse und wo liegt das erste Nebenmaximum? Begründe deine Rechnung mit einer Skizze.
- Wieso merkt man beim Fussballspiel nichts vom Wellenaspekt der Materie? (Stichworte)

## 5) Anwendungen

7 Punkte

- Der graue Star ist eine bei älteren Menschen weit verbreitete Trübung der Augenlinse. - Weshalb ist daran vor allem der UV-Anteil im Sonnenlicht schuld? (Stichworte)
- Wieso ist die Spannung, die eine einzelne Solarzelle liefert, zwischen 1V und 2V? (Stichworte)
- Laserkühlung: Wie viele grüne Photonen braucht es ungefähr, um ein  $10^{-26}$  kg und 2 m/s schnelles Atom auf 1 m/s abzubremesen? Welche Annahmen triffst Du bei Deiner Rechnung?
- Bei einem Flash-Speicher ist für ein Bit ein sog. Floating-Gate vorhanden, das durch einen 20nm «dicken» Isolator aus  $\text{SiO}_2$  vom Rest getrennt ist. – Wie viele Atomlagen sind das etwa? Wieso kann dieses isolierte Gate trotzdem geladen und entladen werden? (Stichworte)

## 8) Begriffe

8 Punkte

- Erläutere stichwortartig den Begriff «Dualismus».
- Erläutere stichwortartig den Begriff «Quantenobjekt».
- Wollte Einstein beweisen, dass das Licht aus Lichtquanten besteht? (Stichworte)
- Erläutere stichwortartig, weshalb Schrödinger seine berühmte Katze erfunden hat.
- Nenne Unterschiede zwischen dem Quantenobjekt «Licht» und dem Quantenobjekt «Elektron».
- Erläutere anhand einer Zeichnung den Unterschied zwischen normaler Spiegelung und Bragg-Reflexion.

**quantitative** Aufgaben

mit qualitativer Ergänzung

Nur quantitative

Aufgaben

**qualitative** Aufgaben

mit wachsenden Anforderungen



## Auch «Nature of Science» als Basis für Notengebung

**9) «Physik und Technik» ODER «Theorie und Experiment» 7 Punkte**

Löse die folgenden Aufgaben für das Thema, das Du gewählt hast:

Schildere allgemein das Verhältnis zwischen den beiden Begriffen in maximal 10 kurzen, ganzen Sätzen. Erwähne dabei mindestens zwei konkrete Beispiele, davon mindestens eines aus der Quantenphysik.

offene Aufgabe  
mit klaren Rahmenbedingungen

**10) «Panorama 1900» & «Biographie» ODER «Panorama 1925» & «Biographie» 10 Punkte**

Löse die folgenden Aufgaben für den Zeitrahmen und die Person, die Du gewählt hast:

- Nenne stichwortartig drei politische Ereignisse aus dem Zeitrahmen des Panoramas.
- Nenne stichwortartig drei wissenschaftliche Ereignisse aus dem Zeitrahmen des Panoramas.
- Nenne stichwortartig zwei andere kulturelle Ereignisse aus dem Zeitrahmen des Panoramas.
- Schildere das Wesentliche aus der Biographie in maximal 10 kurzen, ganzen Sätzen.
- Ist die Laufbahn «Deiner» Person typisch? Wieso? Antwort in einigen kurzen, ganzen Sätzen.

geschlossene Teilaufgaben

offene Teilaufgabe  
mit Rahmenbedingungen

## 5) «Reflexionen» möchten Denkanstöße geben

Im roten Faden der FACETTEN / ELEMENTE



*Reflexion: Der Satz «Das Licht geht aus.» kann falsche Vorstellungen wecken. – Diskutieren Sie in einer kleinen Gruppe, welche es sein könnten?*

Diskussionen auslösen,

*Reflexion: Suchen Sie sich drei Beispiele, die Ihnen spontan zum Wort «Modell» einfallen. Welche Gefahr besteht, wenn man in der Physik mit Modellen spielerisch umgeht und das bewusst Weggelassene vergisst?*

zum Nachdenken anregen.

*Reflexion: Was sagen Sie zur folgenden Behauptung, die Heinrich Hertz 1889 aufgestellt hat: «An diesen Dingen [Erklärungen des Verhaltens der elektromagnetischen Strahlung, HPD] ist ein Zweifel nicht mehr möglich, eine Widerlegung dieser Anschauung ist für den Physiker undenkbar. Die Wellentheorie des Lichtes ist, menschlich gesprochen, Gewissheit».*

Wenn nötig begleiten.

# 6.1) Lernjournal als Basis für Diagnostik oder Notengebung



## Inhalt, Form und Umfang

Das Tagebuch ist in erster Person gehalten. Die Sprache muss nicht literarisch, aber korrekt sein. Eingebundene Illustrationen sind erlaubt. Pro Unterrichtssequenz (Doppellektion) unter keinen Umständen mehr als eine A4-Seite. Eine Zusammenfassung der Lektion ist nicht nötig und wäre Zeitverschwendung.

Unter dem Datum der Lektion steht die Angabe, welche Teile der FACETTEN benutzt wurden.

Nötig sind hingegen persönliche Antworten auf folgende Fragen:

*Was habe ich heute gelernt?*

*Was überraschte mich am meisten?*

*Was fand ich am schwierigsten zu verstehen?*

*Was verstand ich nicht, obwohl es vermutlich wichtig ist?*

*Welche Quellen ausserhalb der Unterlagen habe ich zu Hilfe genommen?*

*Allenfalls ein subjektiver Kommentar*

*Was habe ich heute gelernt?*

Ich habe heute gelernt, dass man Lichtquanten, wenn es um ihre Anzahl geht, Photonen nennt. Dieses Wort habe ich zuvor nämlich noch nie gehört. Ich wusste nicht, dass die Erfindung des Lasers eine solch grosse Errungenschaft war und dass man damit einzelne Photonen im Sinn der QED erzeugen kann. Kurzwelliges Licht ist mit LED viel schwieriger herzustellen und es gab deshalb einen Nobelpreis fürs «Erfinden» des blauen LED. Ich lernte, dass wir auch an uns selber den Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Quantenenergie sehen können. (Nur hochfrequentes UV-Licht vermag es, die Haut zu bräunen.)

*Was überraschte mich am meisten?*

Mich überraschte, wie Glühwürmchen und Laternenfische mit Stoffwechselreaktionen Licht erzeugen können, und das mit einem extrem viel höheren Wirkungsgrad als der von Glühlampen, die lange in der Technik dominiert haben.

*Was fand ich am schwierigsten zu verstehen?*

Ich fand es schwierig zu verstehen, was ein Photon genau ist. Auch konnte und kann ich mir dies immer noch nicht so wirklich vorstellen.

*Was verstand ich nicht, obwohl es vermutlich wichtig ist?*

Mit dem Kapitel 1.5.3. «Erzeugung und Verwandlung von Licht beschreiben und zeichnen» habe ich ziemliche Verständnisschwierigkeiten. Ich kann mir das kaum vorstellen und auch nicht wirklich nachvollziehen.

*Welche Quellen ausserhalb der Unterlagen habe ich zu Hilfe genommen?*

<https://youtu.be/7fLFOgSVFJM>

*Allenfalls ein subjektiver Kommentar*

Mich hat dieses Kapitel teilweise etwas verwirrt, da es für meine Verhältnisse etwas schnell von einem Beispiel/Thema zum nächsten wechselt, ohne dieses genauer zu erläutern oder mehr darauf einzugehen.

*Mehrarbeit!*

Tagebuch vorstrukturieren!

<= als Beispiel zu verstehen

Antworten in 3er-Gruppen  
rotierend => Aufwand verkraftbar

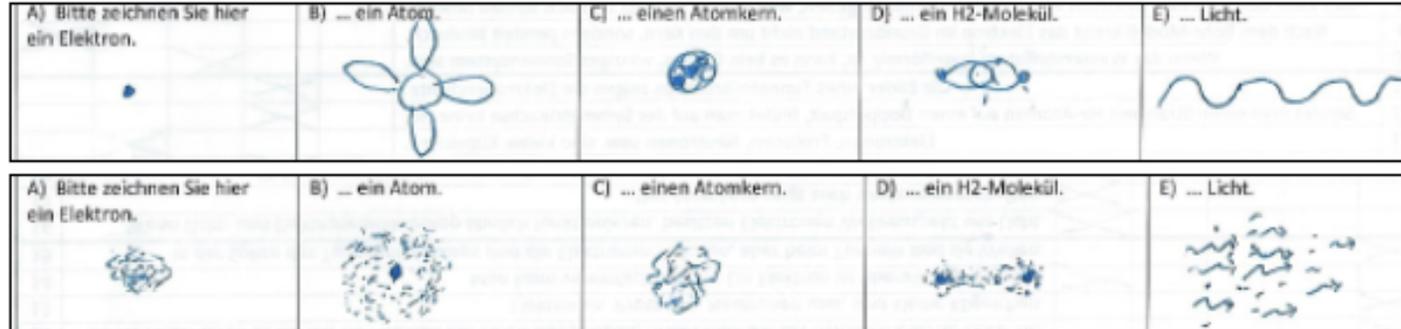
Auf den Austausch innerhalb  
der Gruppe achten.

**Feedback ist wichtig für SuS.**

Verbesserungsvorschläge  
für Material und Unterricht.

# 6.2) Zeichnungen aus dem Fragebogen

## Einsatz zur Diagnostik sinnvoll



Die perfekte Entwicklung –  
ist ein Einzelfall!

Fig. 17. Zeichnungen des gleichen, leistungsfähigen Schülers vor und nach der Unterrichtssequenz zur Quantenphysik

1 = naiv – konkret	2 = nur Welle	3 = nur Teilchen	4 = Welle & Teilchen unabhängig	5 = abstraktes Quanten-Objekt

Zeichnungen

zeigen am Anfang die Vorstellungen  
der Lernenden

und am Ende die Auswirkungen  
des Unterrichts.

Fig. 18. Beispiel zur Codierung der Zeichnungen zum Licht, geordnet nach wachsendem Abstraktionsgrad

# 6.3) Fragebogen

Einsatz und Auswertung sind aufwendig



**QUANTEN-KONZEPT-MONITOR «NACHHER» 4.0** CODE\* oder Name: DSC4 Ainhoo

\* Ihr CODE (z. B. R6E5, wenn Ihre Eltern MaRie 1976 und Niels 1975 heissen) dient nur zum Vergleich von VORHER und NACHHER. Vielen Dank für Ihre Zeit und Ihre Antworten: [hanspeter.dreyer@uzh.ch](mailto:hanspeter.dreyer@uzh.ch)

Bitte nehmen Sie zu den folgenden Aussagen **möglichst spontan** Stellung:

Ich stimme der Aussage (..... unten) in folgendem Grad zu:  
 Es stehen 5 Grade zur Auswahl → → → → →  
 Bitte nur eines der Felder ankreuzen.

		GANZ	EHER SCHON	HALB HALB	EHER NICHT	GAR NICHT
1	Im Atom bewegen sich die Elektronen auf bestimmten Bahnen um den Kern.			X		
2	Licht ist ein Strom von Lichtteilchen (Photonen).					X
3	Es ist besser, von Wellen- und Teilchenaspekt zu sprechen statt von Wellen- und Teilchennatur.	X				
4	Ein Elektron kann durch eine intakte Isolationsschicht dringen, ohne sie zu zerstören.	X				
5	Ein natürliches Ding kann niemals Teilchen- und Welleneigenschaften zeigen.					X
6	Ein Modell ist eine verkleinerte resp. vergrößerte Darstellung der Wirklichkeit.		X			
7	In der Natur hat jede Erscheinung eine bestimmte Ursache, aber man kennt diese eventuell noch nicht.		X			
8	Man kann vereinfacht sagen: 'Ein Elektron ist überall und nirgends.'	X				
9	Bei der Bräunung der Haut spielt die Quantennatur des Lichts eine Rolle.	X				
10	Schiesst man einen Strahl von He-Atomen auf einen Doppelspalt, hat es nachher viele auf der Symmetrieachse.	X				
11	Mit Schrödingers Psi-Wellen kann man Wahrscheinlichkeiten ausrechnen.	X				
12	Es kommt darauf an, ob ich sage 'ein Elektron ist ein Teilchen' oder 'ein Elektron verhält sich wie ein Teilchen'.	X				
13	Das Atom hat eine ähnliche Struktur wie das Sonnensystem.		X			
14	Es gibt technische Neuheiten, von denen man nicht alle physikalischen Grundlagen kennt.	X				
15	In der Physik braucht es für den Fortschritt zuerst neue Daten. Diese kann man anschliessend erklären.				X	
16	Je nach Experiment kommt beim Licht seine Wellen- oder seine Teilcheneigenschaft zum Vorschein.	X				
17	Schiesst man ein Elektron auf einen Doppelspalt, kann niemand vorhersagen, wohin es fliegt.		X			
18	Ein Elektron stürzt nicht in den Atomkern, weil es sehr schnell um ihn herum kreist.			X		
19	Der radioaktive Zerfall geschieht spontan, ohne Ursache.			X		
20	Man kann den Ort eines Elektrons nicht genau angeben, weil es klein ist und sich schnell bewegt.				X	
21	Der Zufall in der Quantenphysik könnte die Wirkung einer unbekanntenen, versteckten Variablen sein.	X				
22	Im Grundzustand ist das H-Atom stabil, ohne dass das Elektron um den Kern läuft.		X			
23	Ein Atommodell ist besser als ein anderes, wenn es mehr erklären kann.				X	
24	Elektronen, Protonen, Neutronen usw. sind winzige Kügelchen.			X		
25	In der Physik gibt es manchmal Fortschritt allein auf Grund einer neuen Idee.	X				

Der Einzelfall sagt nichts aus.

Beispiele

'unerwünscht' = korrekt

'erwünscht' = korrekt



# 7.1) Binnendifferenzierung für NoS-Interessierte mit dem PANORAMA (1900 – 1925 – 1950)

## TECHNIK UND WISSENSCHAFT

**VERKEHR:** In Europa und Nordamerika funktioniert das Eisenbahnwesen mit Dampflokomotiven tadellos, auch durch Alpentunnels, wie die Karte zur Jahrtausendwende zeigt.

Zu den Fahrrädern gesellen sich brauchbare Automobile. Am Himmel schwirren die ersten Zeppeline. Transatlantikfahrten mit dem Dampfschiff werden mehr und mehr zur Routine. 1907 geht die Lusitania für mehrere Tausend Passagiere in Betrieb. Sie soll unsinkbar sein. Dieselmotoren werden bald die letzten Segel bei F...



**KOMMUNIKATION:** ... funktioniert innerhalb der Kontinente, die Telegra... Schiffsfunk können nun laufend dringende Me...

**Fächerübergreifend!**

... Bertrand Russell veröffentlicht 1903 eine Antinomie, die die ... der Mengenlehre erschüttert. Populärversion: Ein Barbier ist einer, ... all diejenigen rasiert, die sich nicht selbst rasieren? Frage: Rasiert der Barbier sich selbst? Antwort: Wenn JA, dann NEIN, aber wenn NEIN, dann JA.

**GEOGRAPHIE:** Chimborazo und Kilimandscharo werden bestiegen. Amundsen ist einer von vielen, die mit einfachsten Mitteln in die Arktis und Antarktis vorstossen. Afrika wird vollständig kartographiert und unter den Kolonialmächten aufgeteilt. Die letzten Touristen werden in Sänften über Alpenpässe getragen. 1906 wird der Simplon-Tunnel eröffnet und von Beginn weg elektrisch betrieben. Postkutschen gibt es noch 20 Jahre.



Versuch, den «Zeitgeist» darzustellen, der während der Entwicklung der Quantentheorie geherrscht hat.

Beispiel: «um 1900»

Historisches,  
Soziales,  
Technisches,  
...

Entwicklungen in  
anderen Wissenschaften  
und anderen Bereichen der Physik



## 7.2) KURZ-BIOGRAPHIEN Ergänzungen zum PANORAMA



### LOUIS-DE-BROGLIE (1892---1987)¶

**Prince-Louis-Victor-Pierre-Raymond-de-Broglie** wird in eine adelige, abgehobene Welt geboren. Sein älterer Bruder Maurice übernimmt die Aufgabe des verstorbenen Vaters und schickt ihn in Paris ins Lycée. Während des Studiums an der Pariser Sorbonne befasst er sich zunächst mit Philosophie und Geschichte. Auf Anregung von Maurice, eines promovierten Physikers, studiert er Mathematik und Physik. Maurice ist Sekretär der 1. Solvay-Konferenz von 1911, auf der Einstein den Dualismus des Lichts vorträgt. Maurice versorgt Louis mit den Texten der Referate und Diskussionen, der so das erste Mal in intensiven Kontakt mit der Quantenphysik kommt. Er entscheidet sich «à épouser la science et elle seule» und löst effektiv seine Verlobung auf. Der Unterricht an der Sorbonne ist veraltet, besonders im mathematischen Bereich; trotzdem schliesst er 1913 mit Bestnoten ab.¶



Durch den Ersten Weltkrieg muss Louis de Broglie sein Studium mehrere Jahre unterbrechen. Er wird Nachrichtenoffizier und verbringt den größten Teil seiner Dienstzeit in einer Funktelegraphischen Station des Eiffelturms. 1919 muss er seinen Rückstand auf den Foren nachholen, er bearbeitet die Theorie meist allein und experimentiert im Privatlabor mit Röntgen-spektroskopie und dem Photoeffekt beschäftigt. Er schreibt die ersten Abhandlungen zur Wellenmechanik des noch vollständig unentdeckten de Broglie.¶

1924 schliesst de Broglie seine Dissertation *Recherches sur la théorie des quanta* ab, in der er vermutet, dass der Dualismus auf jegliche feste Materie anzuwenden sei. Der Prüfungsausschuss der Sorbonne, zu dem auch die bekannten Physiker Jean-Baptiste Perrin und Paul Langevin gehörten, ist sich unsicher, wie er auf diesen kühnen und experimentell nicht bestätigten Vorschlag reagieren soll. De Broglie selbst äußerte in Bezug auf die Skepsis Paul Langevins, dieser sei *probablement un peu étonné par la nouveauté de mes idées* gewesen. Langevin schickte ein Exemplar der Dissertation, die ausdrücklich auf Einstein Bezug nimmt, nach Berlin. Einstein wiederum informiert Max Born und meint: *Die Arbeit von de Broglie hat grossen Eindruck auf mich gemacht. Er hat einen Zipfel des grossen Vorhangs gelüftet.* Später erklärt er, er glaube, dass de Broglies Doktorarbeit den ersten schwachen Lichtstrahl auf dieses leidendste unter den physikalischen Rätseln -- den Dualismus des Lichts -- werfe. Max Planck berichtet, wie ungewöhnlich er de Broglies neue Gedanken zunächst empfunden hat: *Die Kühnheit dieser Idee war so gross -- ich muss aufrichtig sagen, daß ich selber auch damals den Kopf schüttelte dazu, und ich erinnere mich sehr gut, daß Herr Lorentz mir damals sagte im vertraulichen Privatgespräch: Diese jungen Leute nehmen es doch gar zu leicht, alte physikalische Begriffe beiseite zu setzen! Es war damals die Rede von Broglie-Wellen, von der*

Fächerübergreifend!

Nur 1 A4-Seite

mit integrierten Zitaten

Versuch,

die Rolle der Person auch ausserhalb der Physik sichtbar zu machen.

«So gut als möglich...»

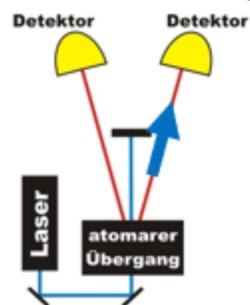


# Binnendifferenzierung, für MINT-Interessierte, EF und PAM mit MINT I, II und III

## I.6 Optische Experimente mit 1 Photon-Zuständen

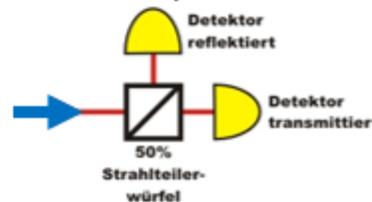
Experimente zur Quantenphysik der Materie, etwa Interferenzen von Elektronen, Neutronen, Molekülen usw., setzen - unter Anderem - riesige Vakuumanlagen voraus. Sie sind im Gymnasium unmöglich. Das Gegenstück, Experimente zum Licht, sind auch im Gymnasium möglich. Wie Meyn et al. von der Universität Erlangen zeigen, sogar mit einzelnen Lichtquanten: [www.QuantumLab.de](http://www.QuantumLab.de)

Ein Laser schickt kurzwelliges Licht (405 nm) auf einen speziellen Kristall. In seinem atomaren Übergang entstehen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit aus einem Lichtquant zwei Quanten mit je der halben



Energie. Diese besitzen deshalb die doppelte Wellenlänge von 810 nm. Wegen der Impulserhaltung fliegen sie symmetrisch zur Einfallrichtung weg. Dorthin fliegt auch der Reststrahl mit den nicht verwandelten Quanten. Die «neuen» Lichtquanten können in zwei Detektoren gemessen werden, die im Prinzip gleichzeitig ein Signal melden müssen. Man spricht von **Koinzidenz**, dem Zusammentreffen zweier Ereignisse. Wenn man eines misst, vernichtet man es zwangsläufig. Wenn man nur eines der beiden misst, kann man mit dem zweiten  $\psi_1$  (Pfeil  $\rightarrow$ ) weiter experimentieren.

Wesentlich ist, dass das erste Lichtquant der Elektronik ankündigt, dass jetzt das zweite unterwegs ist. Die Detektoren müssen so empfindlich sein, dass sie durch einzelne Photonen ausgelöst werden. Man benützt dazu Avalanche Photo Diodes, bei denen ein Photon eine Ladungslawine lostritt. Doch wie Schneelawinen können auch Ladungslawinen spontan losbrechen. Man muss also statistisch untersuchen, wie viele der beobachteten Koinzidenzen zufällig entstanden sind und dies beim Experimentieren berücksichtigen. Während das erste Lichtquant das andere ankündigt, kann man (Bild rechts) das zweite durch einen 50%-Strahlteiler schicken und in Durchlassrichtung (transmittiert) und gespiegelter Richtung (reflektiert) messen. Im Prinzip spricht immer nur der eine oder der andere Zähler an (Antikoinzidenz), weil die Lichtquanten ihrem **Teilchenaspekt** entsprechend ganz hindurchgehen oder gespiegelt werden. Im Detail sind wieder die



**MINT I:**  
z.B.  
simulierte  
Prozesse mit  
1 Photon-Zuständen

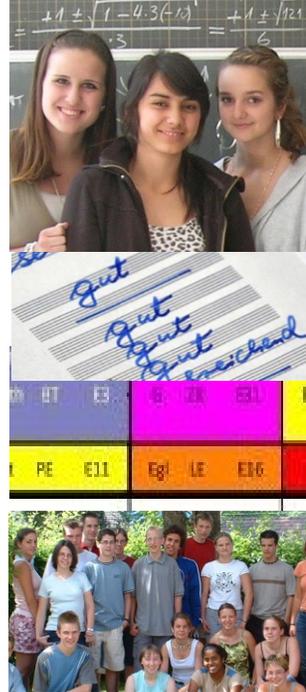
**MINT II:**  
Standardmodell & Technik

**MINT III:**  
Mathematik



# Schulalltag:

Aufgaben, Experimente, Reflexionen  
sollen immer Diskussionen auslösen.  
Lernkontrolle und Notengebung sind anspruchsvoll,  
wenn Qualitatives einbezogen wird.



***Ihre Bewertungen, Erfahrungen,  
Anregungen und Fragen...***



QR-Code zur Online-Umfrage

