

Winterthur, 13.01.2016

# Atom – und Kernphysik Projektabschluss



swiss science center  
**TECHNORAMA**



# **1. Das Angebot**

## **1. Rückmeldungen der Testklassen und der Lehrpersonen**

## **3. Optimierte Durchführung**

## **4. Offene Fragen**

# **1. Das Angebot**

- 1.1. Dreissig Experimente zur Physik der ersten Hälfte des 20. Jh.**
- 1.2. Schriftliche Unterlagen zu den verschiedenen Themen**
- 1.3. Didaktische Form, mit dem Schwerpunkt auf dem Experimentieren**
- 1.4. Ausbildung zur kompetenten Betreuung**

## 1.1. Dreissig Experimente zur Physik der ersten Hälfte des 20. Jh

1. Interferierende Kreiswellen
2. Beugung, Interferenz
3. Laue Aufnahmen
4. Debye-Scherrer Aufnahmen
5. Elektronenbeugung
6. Rastertunnelmikroskopie
7. Elektronenladung
8. Spezifische Elektronenladung
9. Photoeffekt
10. Schwarzkörperstrahlung
11. Spektralanalyse
12. Periodensystem
13. Franck-Hertz Versuch
14. Flammenfärbung
15. Magnetische Momente
16. Zeeman-Effekt
17. Elektronenspinresonanz (ESR)
18. Röntgenspektrum
19. Comptoneffekt
20. Fluoreszenz
21. Röntgenfluoreszenz
22. Röntgenanalysen
23. Rutherford Streuung
24.  $\alpha$  - Strahlung
25.  $\beta^+$ ,  $\beta^-$  - Strahlung
26.  $\gamma$  - Strahlung
27. Radioaktiver Zerfall, Halbwertszeit
28. Natürliche Radioaktivität
29. Detektoren
30. Kernspinresonanz
31. Myonen
32. Anihilation

# 1.2. Schriftliche Unterlagen zu den verschiedenen Themen (SchülerInnen)

2

Einführung

Diskussion

- Woher man hinter der Einfachspalte?
- Wie entsteht dieses Beugungsbild?
- Wie verändert sich bei der Verwendung einer Doppelspalte oder eines Gitters?
- Kann mit der Kenntnis des Abstandes vom Auffangschirm zum Spaltensystem die Spaltbreite  $a$  und der Spaltenabstand  $d$  berechnet werden?

Beta Strahlung (25)

Ablenkung

- Bauen Sie die Versuchseinheit gemäß der Geräteaufbau-Liste auf. Nach der Kontrolle des Aufbaus durch den Betreuer erhalten Sie die radioaktive Probe. Der Kugelschreiber wird jetzt durch das radioaktive Präparat ersetzt.
- Stellen Sie am Zähler eine Messzeit von 10 s ein.
- Stellen Sie den Zählrohrhalter so ein, dass die Anode so liegt, dass das Zählrohr im gewünschten Winkel in gerader Linie auf die Spitze des Strahlertiffes zeigt. (Achten Sie darauf, dass das Präparat vor dem Zählrohr-Ende zum 0-Punkt bei allen Messungen gleich bleibt, dazu können Sie auch an den halbkreisförmigen Linien orientieren.)
- Beim Drücken des Startknopfes beginnt die Messung für den eingestellten Winkel.
- Nach der Kontrolle der Intensität kann für neue Winkel die Intensität bestimmt werden, indem Sie durch Drücken von Reset - Start. (Es wird empfohlen, für Winkelstellungen zwischen  $-80^\circ$  und  $+80^\circ$  in Zehnerschritten die Messungen zu messen.)
- Können Sie aus der Flugrichtung der  $\beta$ -Teilchen, der Magnetfeldrichtung und der beobachteten Ablenkung die Ladung der Teilchen bestimmen? (Das Stichwort lautet: Lorentz - Kraft resp. Rechte Handregel)
- Überprüfen Sie das Resultat von b) indem Sie die Magneten vertauschen und einige Messungen von a) wiederholen.
- Tragen Sie die Messwerte von a) in ein Polardiagramm.
- Welche qualitative Auskunft gibt dieses Diagramm?

Laue Aufnahmen

Computer, X-ray Gerät und Scanner und einstellen (warten bis oranges Blinklicht erlischt)

Am Monitor das „Röntgenprogramm“ und „Image Reader“ starten

Am Röntgengerät einstellen:  $U=35\text{ kV}$ ,  $I=1\text{ mA}$ ,  $t=600\text{ s}$ ,  $\Delta\theta=0.0^\circ$

Lochkollimator einsetzen

Auf dem Kollimator den Einkristall montieren

Filmhalter und Film in ca. 2 cm Distanz zum Kristall einsetzen

Fenster am X-ray Gerät schließen

Mit „Scan“ die Belichtung starten

Nach Belichtung des Films aus dem X-ray Gerät das Scannergerät leeren

prozedur mit IPYS im Controlprogramm starten  
Name der Probe eingeben:  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$   
Dateiname:  $S.8.1944$   
Metall (N-4) festlegen  
Datei mit Read starten

Nach dem Scan das Lauebild in „Aide“ unter „File“ öffnen und Bild drucken

Geräte Ausschalten

neues Lauebild?

Film aus dem Scanner nehmen und im weissen Licht löschen

Kontinuum (freie Elektronen)

n	E/eV
$\infty$	0.00
4	-0.85
3	-1.51
2	-3.40
1	-13.60

Paschen-Serie

Balmer-Serie

Lyman-Serie

diskretes Energiespektrum (gebundene Elektronen)

Tabellen

Zählrate

Zeit /s

Formulare

# 1.2. Schriftliche Unterlagen zu den verschiedenen Themen (Lehrpersonen)

2

**Einführung**

**Diskussion**

- Was passiert nun hinter der Einfachspalte?
- Wodurch entsteht dieses Beugungsbild?
- Was verändert sich bei der Verwendung einer Doppelspalte oder eines Gitters?
- Kann mit der Kenntnis des Abstandes vom Aufschirmschirm zum Spaltensystem, die Spaltbreite  $a$  und der Spaltenabstand  $d$  berechnet werden?

**Theorie**

**18. Röntgenspektrum**

Beobachtung (Volksschule)	Interpretation (Sekundarstufe I)	Weitere Analyse (Sekundarstufe II)
a) Eine Röntgenröhre sendet Wellen aus, deren Wellenlängen sehr klein sind.	a) Die von der Kathode zur Anode beschleunigten Elektronen werden vor der Anode abgebremst und senden elektromagnetische Wellen aus.	b) Aus $\lambda_{\text{min}}$ der Röntgenstrahlung kann bei Kenntnis der Beschleunigungsspannung die Plancksche Konstante berechnet werden: $h = \frac{hc}{\lambda_{\text{min}}} = \frac{hc}{hc/eU} = \frac{hc}{eU}$ . Da die höchste Energie eines Röntgenquantes $h\nu_{\text{max}} = hc/\lambda_{\text{min}} = 66.5 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ , ergibt sich für die kürzeste Wellenlänge $\lambda_{\text{min}} = hc/eU = 30 \text{ nm}$ .
b) Je höher die Spannung zwischen Kathode und Anode ist, umso kürzer wird die kleinste Wellenlänge.	b) Die Spannung liegt zwischen 5 und 35 kV. Somit haben die Elektronen eine max. Energie $E_{\text{max}} = eU = 35 \text{ keV} = 35 \cdot 1.9 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ . Da die höchste Energie eines Röntgenquantes $h\nu_{\text{max}} = hc/\lambda_{\text{min}} = 66.5 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ , ergibt sich für die kürzeste Wellenlänge $\lambda_{\text{min}} = hc/eU = 30 \text{ nm}$ .	b) Die charakteristischen Linien verschiedener Anodenmaterialien lassen unter Berücksichtigung der Bohrschen Theorie für diese Atomsorten die Kernladungszahl berechnen. (Moseley-Gesetz)
c) Es entsteht ein sog. Bremsberg und diesem überlagert sog. Charakteristische Linien.	c) Die Energie der von der Kathode zur Anode beschleunigten Elektronen wird durch die Beschleunigungsspannung $U$ bestimmt. Bei der Beschleunigung durch die Spannung $U$ der L- resp. M-Schale des Anodenmaterials wird ein charakteristisches Röntgenquant charakteristische Wellenlänge $\lambda_{\text{min}}$ ausgesendet. Dies ergibt die $K_{\alpha}$ -Linie.	d) Mit der Bremsstrahlung unter b) lassen sich die Wellenlängen der $K_{\alpha}$ - und der $K_{\beta}$ -Linie berechnen.
d) Die Wellenlänge der charakteristischen Strahlung ist vom Anodenmaterial abhängig.	d) Mit der Bremsstrahlung unter b) lassen sich die Wellenlängen der $K_{\alpha}$ - und der $K_{\beta}$ -Linie berechnen.	

**Beschreibung**

**Wasserstoff: Termschema & Spektrum**

**Auswertung**

### 1.3. Didaktische Form, mit dem Schwerpunkt auf dem Experimentieren

a) 24 SuS/ 6 Gruppen à 4 SuS, resp. 12 SuS/ 6 Gruppen à 2 SuS

b) 2-3 BetreuerInnen (Ch. Rummel, U. Bauer, M. Ziegler)

c) 6 Experimente (vorgängige Auswahl)

d) Zeitplan:

H: Einführung (Vorstellung)

H+10 bis H+20 **Verteilung der Experimente**

(physikalische Fragen mit Videoprojektion)

H+20 bis H+60 Experimente einrichten und kennenlernen  
(Vorexperimente)

H+60 bis H+80 **Kurzvortrag** (Gruppenweises Vorstellen der  
Probleme mit Skizzen auf Folien)

H+80 bis H+140 Messungen, Protokolle, Graphiken, Auswertungen

H+140 bis H+170 **Diskussion** im Plenum (Gruppenweises Vorstellen  
erster Daten auf Folie)

H+170 bis H+180 Verabschiedung, Rückmeldung

e) Pausen gruppenweise nach Bedarf

## 1.4. Ausbildung zur kompetenten Betreuung

- a) **Teilnehmer**
- **U. Bauer**
  - A. Duff
  - M. Engel
  - M. Miranda
  - B. Neff
  - **Ch. Rummel**
- b) **Weiterbildung** vom Mai bis Sept. 2015, 14 Sitzungen a jeweils 3 Std.  
(Überprüfung der schriftlichen Unterlagen, Austesten der Versuche)
- c) **Testklassen:** (Austesten von didaktischen Modellen)
- 5 Klassen - KS Zürcher Oberland
    - Atelier Schule Zürich
    - Atelier Schule Zürich
    - KS Nuolen
    - LG Rämibühl ZH

# 2. Rückmeldungen der Testklassen und der Lehrpersonen

2.1. Fragebogen

2.2. Lehrerrückmeldungen

2.3. SchülerInnen Rückmeldungen

2.4. Verbale Rückmeldungen

positiv

negativ

2.5. Lehrerberichte



## 2.1. Fragebogen

### \*Ziel

Unterstützung bei der Weiterentwicklung des WS

### \*Teilnehmer

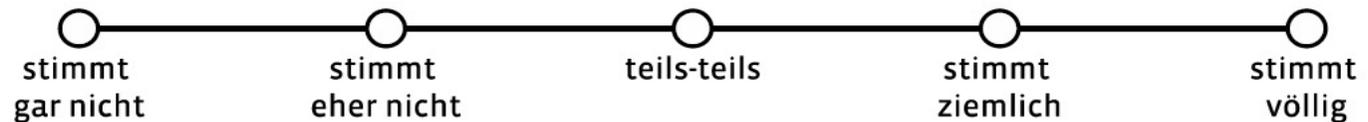
Fragebogen an Schüler und Lehrer

\*5 Lehrpersonen (W/M 1/4)

59 Schüler (W/M 22/37)

### \*Likert Scale (1-5)

1. Der Workshop hat mir Spass gemacht.



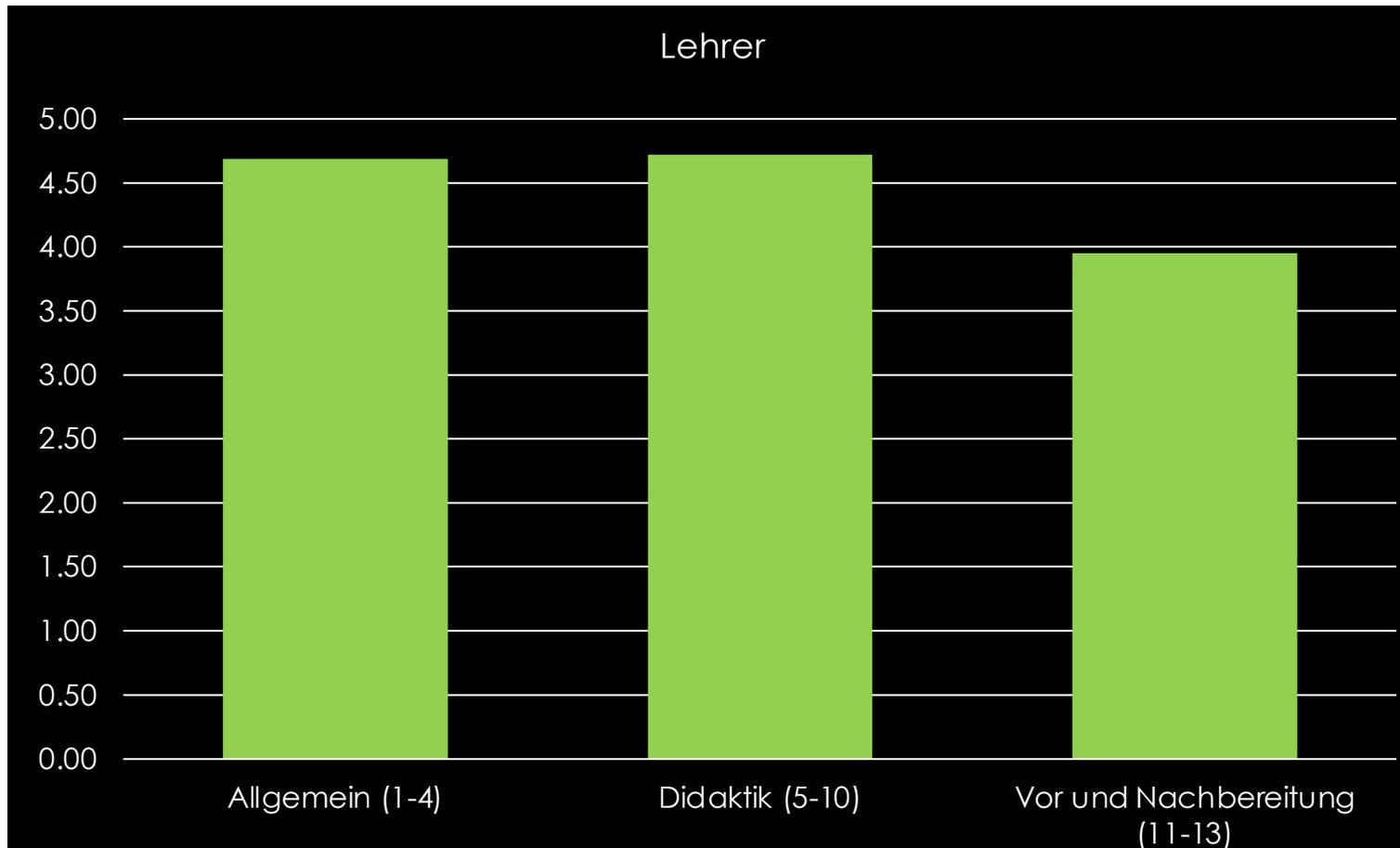
## 2.2. Resultate Lehrpersonen

Lehrer (13 Fragen):

Allgemein/Struktur (4)

Didaktik (6)

Vor- und Nachbereitung (3)



## 2.3. Resultate Schüler Und Schülerinnen

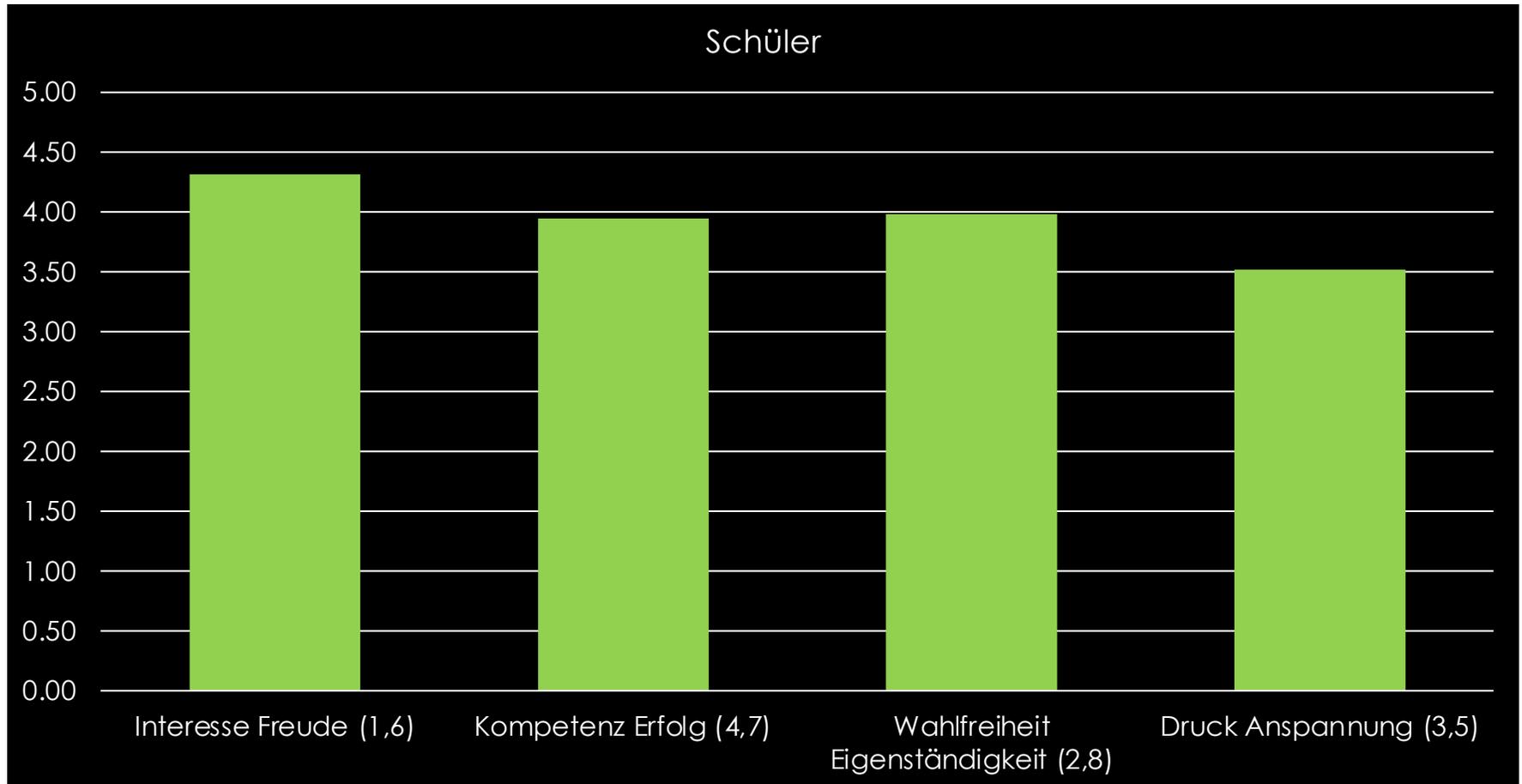
Schüler (8 Fragen):

Interesse Freude (2)

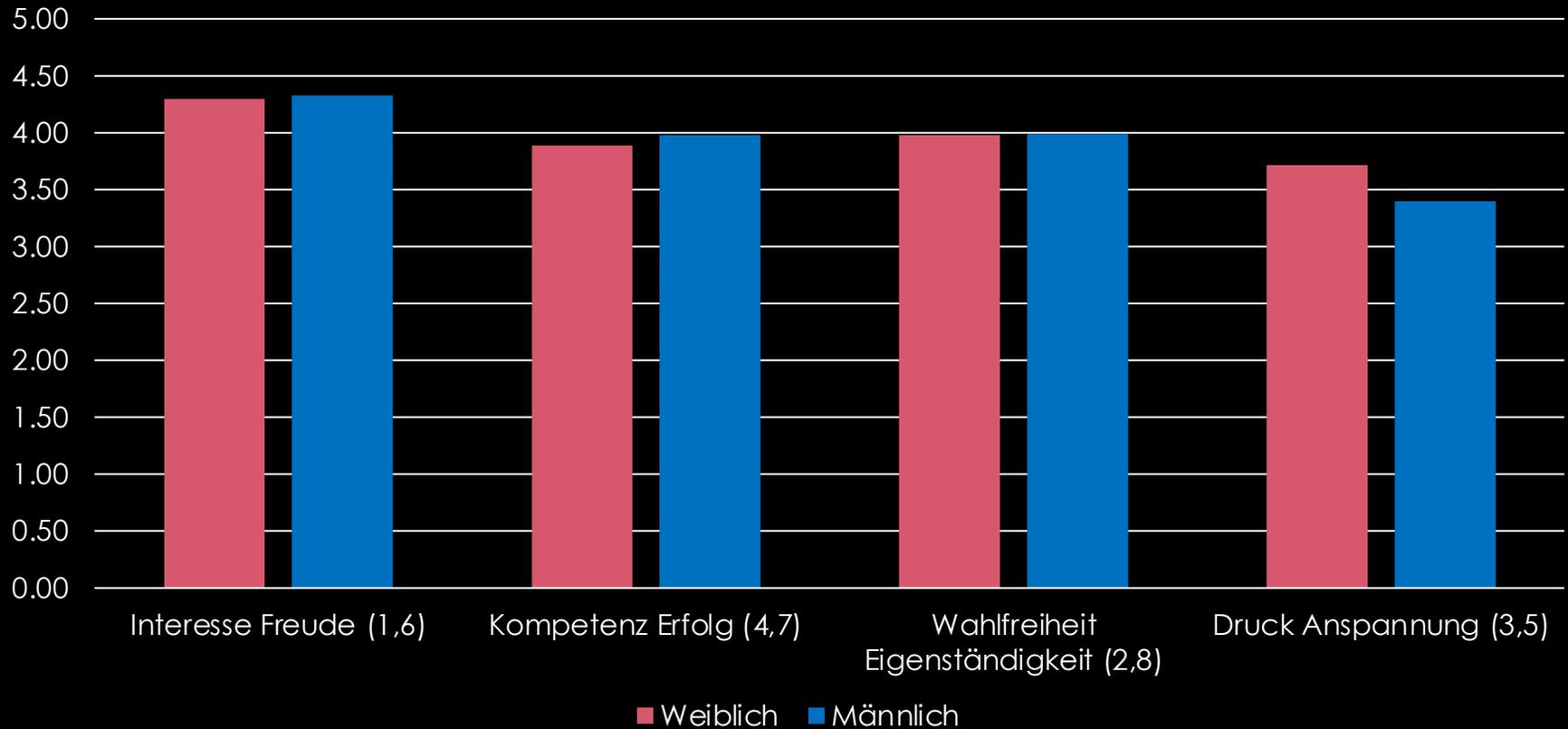
Kompetenz Erfolg (2)

Wahlfreiheit Eigenständigkeit (2)

Druck Anspannung (2)



### Schüler (Männlich/Weiblich)



## 2.4. Verbale Antworten Schülerinnen/Schüler/Lehrpersonen



positive



negativ



Zufriedenheit mit den Versuchen (Auswahl, viele Möglichkeiten)

## Selber experimentieren zu können

Austausch zwischen den Gruppen

Diskussionen zu den Experimenten

Jeder konnte seinen Teil beitragen

Experimente gut beschrieben und aufgebaut

Hilfsbereitschaft der Helfer

Gute Lernatmosphäre

Gute Instrumente

Genug Zeit, Raum und Ausrüstungen Gute Erklärungen

## Lehrreiche Ergänzungen von Herrn Ziegler

Experimentieren mit radioaktiven Quellen

Neue Erkenntnisse gewonnen

Kein Druck alles gut zu machen. Keine Angst seine Gedanken zu äussern

Vertiefung theoretischer Kenntnisse durch Experimente



Die Themenauswahl lieber selber vornehmen  
Zu wenig Zeit um alle Experimente zu verstehen  
Lästiger Ton im Raum  
Belichtungsverhältnisse nicht sehr gut  
Stühle ohne Lehne  
Der Aufbau des Experimentes hat Zeit gekostet

## 2.5. Lehrerbericht

26. Nov. 2015 Nachmittag

Unsere Schule: Literargymnasium Rämibühl

Lehrer: Monica Vogel und Conradin Beeli

Wir haben mit unseren 12 Schülerinnen und Schülern (SuS) der Physik-Präferenzklasse das neu geschaffene Atomlabor besucht. **Insgesamt haben wir einen sehr angeregten und informativen Besuch im Atomlabor des Technorama erlebt.**

Als erstes lernten die SuS die Betreuer und die sechs Experimente kennen, die sie in Zweiergruppen durchführen konnten. Dann präsentierte jede der sechs Gruppen ihr Experiment und erklärte worum es ging und präsentierten erste Hypothesen. Dann wurde gearbeitet und die Experimente durchgeführt.

**Dabei zeigte es sich, dass es möglich ist zu guten Resultaten zu kommen. Genauso zeigte sich aber auch, dass es wesentlich war die mathematische Beschreibung des Experimentaufbaus gut zu verstehen, da sonst die quantitative Auswertung sich schwierig gestaltete.**

Die sechs Experimente:

- 1) Spektralanalyse durch Interferenz am Gitter: Analyse mit dem Bohr'schen Atommodell
- 2) Alphastrahlung und deren Abschirmung
- 3) Betastrahlung und Ablenkung im Magnetfeld
- 4) Gammastrahlung: Absorption und Abschirmung
- 5) Radioaktiver Zerfall von  $Ba^{137m}$ : Halbwertszeit
- 6) Beobachtung der natürlichen Radioaktivität mit Hilfe der Nebelkammer





**Die SuS arbeiteten fleissig an ihren Aufgaben und waren mit Begeisterung dabei. Sowohl aus Sicht von uns Lehrern (Monica Vogel und Conradin Beeli), sowie auch aus der Sicht der SuS war es eine sehr willkommene Abwechslung mit spannender Laborarbeit für die SuS!**

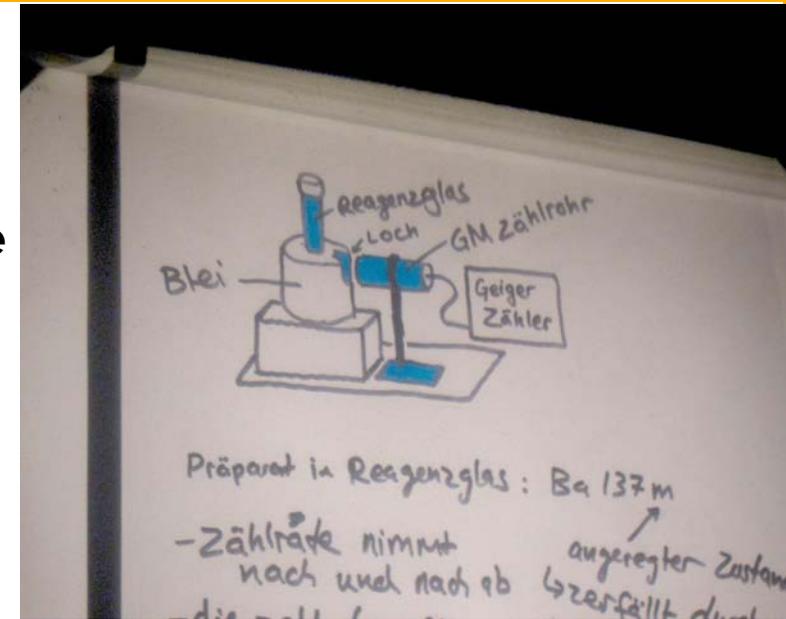
**Entsprechende Experimente an einem Gymnasium zu unterhalten wäre schwierig und ist sicher auch wegen des finanziellen Aufwandes nur an grösseren Kantonsschulen möglich.**

**Beeindruckend war für uns Lehrer, dass die Betreuer des Atomlabors nicht nur einen guten Zeitplan mit interessanten, grundlegenden Experimenten vorbereitet hatten, sondern auch einen sehr guten Gesamtrahmen gefunden hatten:**

**Erstens eine vorgängige Präsentationsrunde, dann die experimentelle Arbeit und Auswertung der Messresultate, sowie eine abschliessende Präsentation mit den gefundenen Resultat**



Unsere SuS haben sich im Atomlabor ernst genommen gefühlt, indem sie wirklich spannende physikalische Messungen zur modernen Atomphysik durchführen konnten und damit auch zu guten, eigenen Resultaten gekommen sind. Das zeigte sich unter anderem darin, dass die SuS trotz ihres guten Arbeitseinsatzes eine lockere und zufriedene Stimmung zeigten.



Wir werden sicher wieder mit kommenden Klassen das Atomlabor besuchen!

### **3. Optimierte Durchführung**

### 3.1. Informierender Einstieg ins Atomlabor

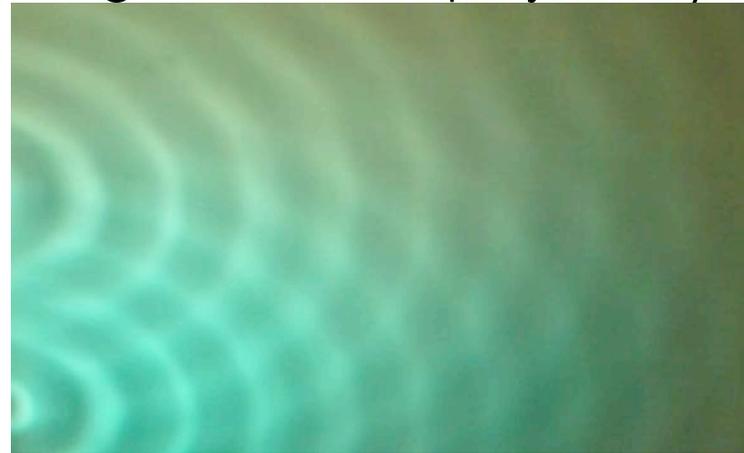
- a) Im Vordergrund steht das praktische Arbeiten (keine Theorien!)
- b) Aus Vorversuchen erste Interpretationen und Hypothesen bilden
- c) Messungen, Folgerungen aus den Messdaten → Auswertungen
- d) Zeitplan:

H:	Einführung (Vorstellung)
H+5 bis H+15	Verteilung der Experimente <b>1, 2, 4, 5, 11</b> (physikalische Fragen mit Videoprojektion)
H+15 bis H+45	Experimente einrichten und kennenlernen (Vorexperimente)
H+45 bis H+80	<b>Kurzvortrag</b> (Gruppenweises Vorstellen der Probleme mit Skizzen auf Folien)
H+80 bis H+140	Messungen, Protokolle, Graphiken, Auswertungen
H+140 bis H+170	<b>Diskussion</b> im Plenum (Gruppenweises Vorstellen erster Daten auf Folie)
H+170 bis H+180	Verabschiedung, Rückmeldung

## 3.2. Verteilung der Experimente **1, 2, 4, 5, 11**

(physikalische Fragen mit Videoprojektion)

1



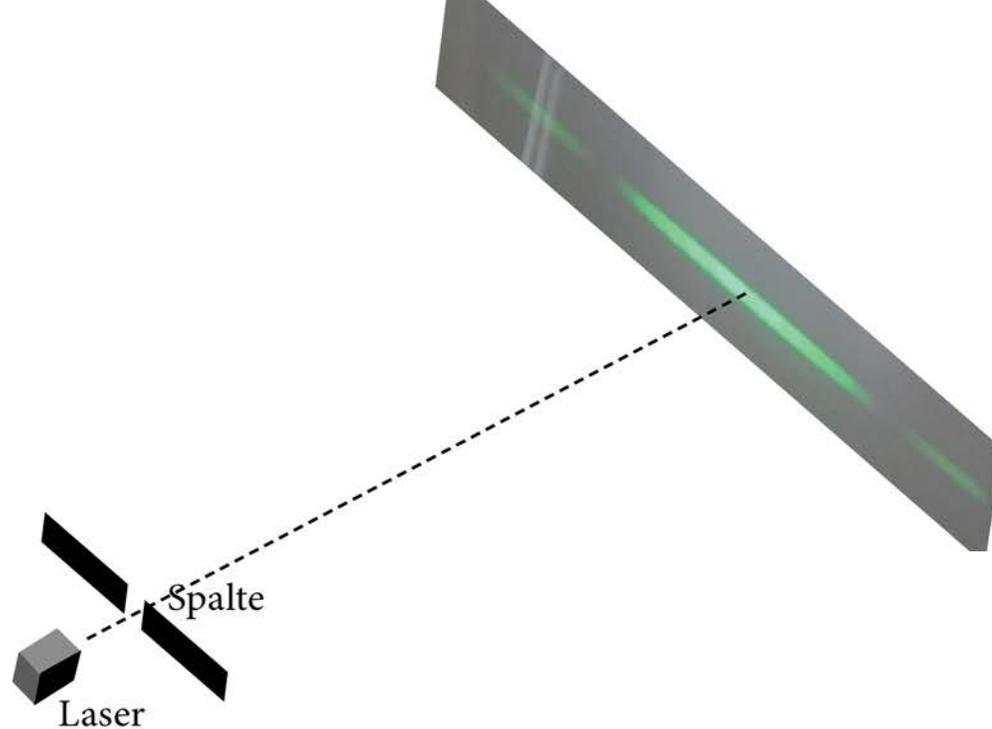
Kurzvortrag:

- Wie funktioniert das Experiment ?
- Wie entstehen die dunklen und hellen Streifen (resp. Kreise) ?
- Wie ändert sich der Abstand benachbarter heller Streifen, wenn die „Tupf“frequenz erhöht wird ?
- Ändert die Ausbreitungsgeschwindigkeit merklich, wenn die „Tupf“frequenz verändert wird ?

Diskussion:

- Bestimmen Sie bei der ebenen Welle die Ausbreitungsgeschwindigkeit.
- Bestimmen sie die Frequenz und den Abstand benachbarter heller Linien.
- Wiederholen Sie dieses Experiment mit höherer Frequenz.
- Vergleichen Sie die beiden Grössen mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit
- Entlang welchen Linien bewegen sich die Schnittpunkte der Kreise ?

2



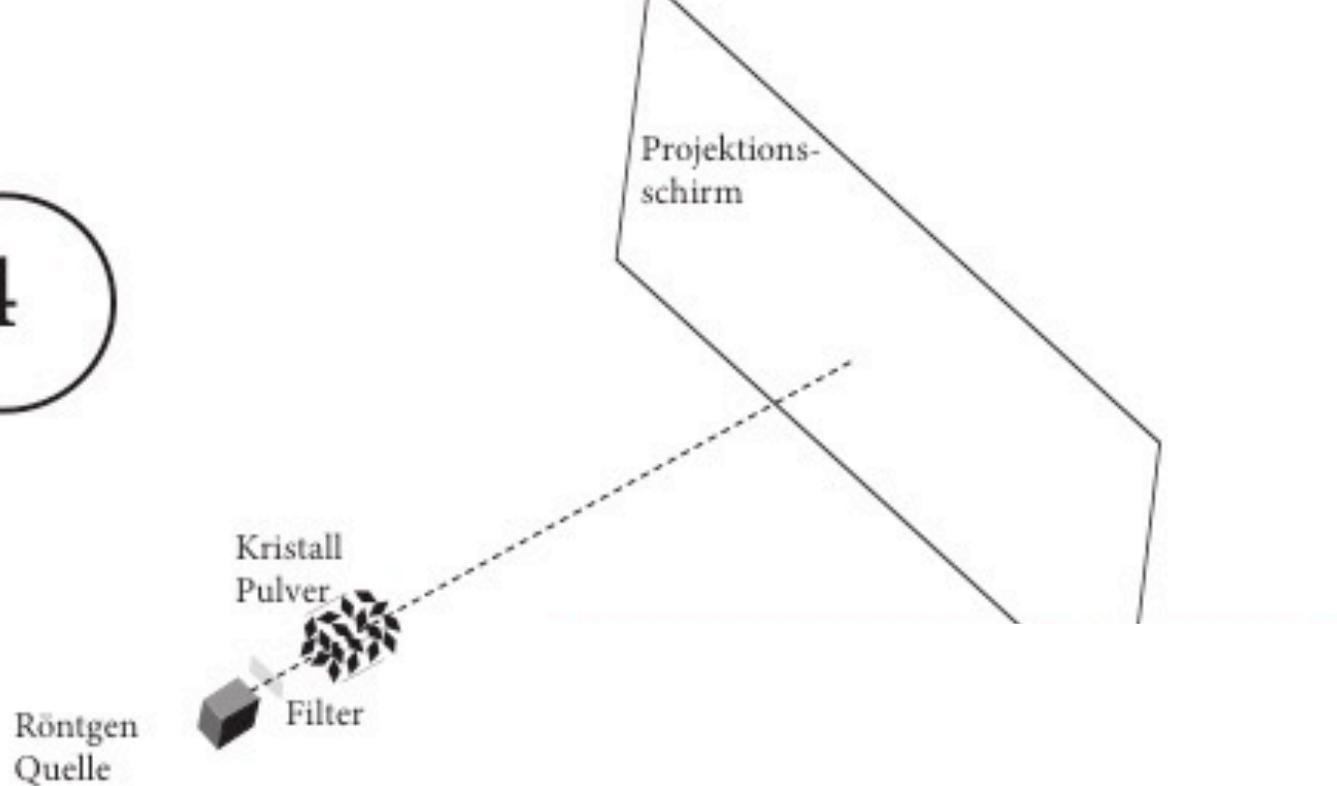
Kurzvortrag:

- Wie funktioniert das Experiment ?
- Was haben Sie erwartet ?
- Welche ersten Beobachtungen machten Sie ?

Diskussion:

- Was sieht man hinter der Einfachspalte?
- Wie entsteht dieses Beugungsbild? (Skizze!)
- Was ändert bei der Verwendung einer Doppelspalte, eines Gitters ?
- Kann unter Kenntnis der Wellenlänge und dem Abstand vom Auffangschirm zum Spaltsystem die Spaltbreite  $a$  und der Spaltenabstand  $d$  berechnet werden ?

4



Kurzvortrag:

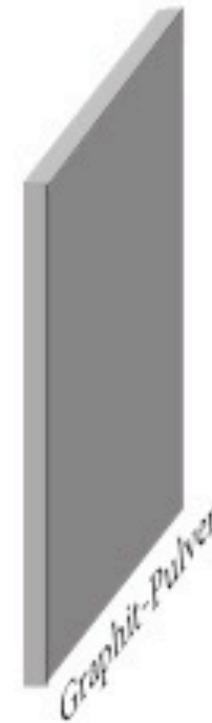
- Aufbau des Experimentes ?
- Woraus besteht Graphit ? (Herstellung einer Probe aus Bleistiftmine!)
- Wie entstehen die Ringe ?

Diskussion:

- Welche Wirkung hat das Filter ?
- Versuchen Sie mit Hilfe der Interferenz zu erklären, weshalb Interferenzringe entstehen. (Dazu benötigen sie die Erklärung von Bragg)
- Können Sie aus den Ringdurchmessern, dem Abstand Kristall-Schirm und der Wellenlänge die Gitterkonstante bestimmen ?

5

Elektronen



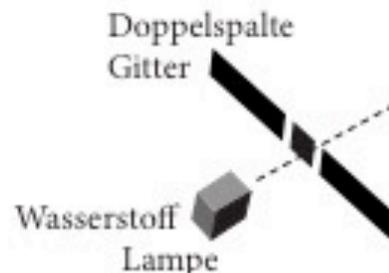
Kurzvortrag:

- Aufbau des Experimentes ?
- Was denken Sie, wie werden die Elektronen abgelenkt ?
- Was beobachten Sie auf dem Fluoreszenzschirm ?
- Welche Rolle spielt die Spannung, die für die Beschleunigung der Elektronen verantwortlich ist?

Diskussion:

- Welche Vermutung drängt sich Ihnen auf, wenn Sie Debye-Scherrer Ringe beobachten? (s. auch Versuch 4)
- Wie erklären Sie sich das Entstehen der Interferenzringe ?
- Welche Eigenschaften haben die Elektronen ?
- Können Sie aus den Messdaten die Gitterkonstanten von Graphit berechnen?

11



Kurzvortrag:

- Was beobachten Sie auf dem Schirm ?
- Welchen Unterschied sehen Sie bei der Verwendung verschiedener Gitter ?
- Wie entstehen diese Bilder ?

Diskussion:

- Können Sie aus der Gitterkonstanten (Abstand benachbarter Spalten) dem Abstand Gitter-Schirm und dem Ort der Linie die Lichtwellenlänge berechnen?
- Können Sie diese Lichtwellenlängen mit dem Termschema von Wasserstoff in Verbindung bringen ?



**3.3. Kurzvortrag** (Gruppenweises Vorstellen der Probleme mit Skizzen auf Folien)

Messungen, Protokolle, Graphiken,  
Auswertungen

**3.4. Diskussion** im Plenum (Gruppenweises Vorstellen erster Daten auf Folie)

**3.5. Verabschiedung, Rückmeldung**

## **4. Offene Fragen**

**4.1. Wie wird das Atomlabor angeboten?**

**4.2. Wie wird das Angebot bekanntgemacht?**

**4.3. Wer führt die Workshops durch?**

**4.4. Wie sieht die Weiterentwicklung des Atomlabors aus?**

## 4.1. Wie wird das Atomlabor angeboten? (Vorschlag)

- Statt 30 Experimente 6 thematisch gegliederte Workshops

### **Kann man Atome sehen?**

1. Interferierende Wasserwellen
2. Beugung, Interferenz
3. Laue Aufnahmen
4. Debye-Scherrer Aufnahmen
5. Elektronenbeugung
6. Rastertunnel-Mikroskop

### **Dem Aufbau der Atome auf der Spur**

2. Beugung und Interferenz
11. Spektralanalyse (Bohr Atom)
13. Franck-Hertz Versuch
12. Periodensystem
21. Röntgenfluoreszenz
23. Rutherford Versuch

### **Ist die Natur wirklich sprunghaft?**

9. Photoeffekt
10. Schwarzkörperstrahlung
18. Röntgenspektrum
13. Franck-Hertz Versuch
19. Compton Effekt
20. Fluoreszenz, Phosphoreszenz

### **Spielt da Jemand mit Kreiseln im Atom?**

15. Magnetische Momente
16. Zeemann Effekt
11. Spektralanalyse (Bohr-Modell)
12. Periodensystem
17. Elektronenspinresonanz (ESR)
18. Nuclear-magnetic-resonance ( NMR)

### **Baustoff der Materie**

- 11. Spektralanalyse (Bohr-Modell)
- 7. Elementarladung
- 8. Spezifische Ladung
- 23. Rutherford Experiment
- 24. Alpha Strahlung
- 25. Beta Strahlung
- 26. Gamma Strahlung

### **Teilchen aus den Atomkernen**

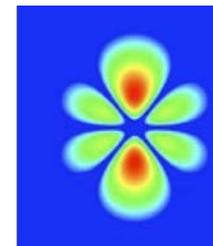
- 24. Eigenschaften von Alpha Strahlen
- 25. Ablenkung von Beta Strahlen
- 26. Halbwertsdicke von Blei
- 27. Halbwertszeit von  $\text{Co}^{60}$
- 28. Natürliche Radioaktivität
- 32. Anihilation
- 22. Computertomographie (CT)

- Bei einer à discrétion Wahl genaue Absprache mit Labor-Leitung
- Genaue Angabe der Voraussetzungen (auch schon in der Ausschreibung)
- Schülerinnen und Schüler müssen Schreibmaterial und Rechner mitbringen (Angaben auch in der Ausschreibung)

## 4.2. Wie wird das Angebot bekanntgemacht?

- Vernissage ?
- Briefe an Sek. Stufen II Schulen (Physik-, Chemie- Lehrer) ?
- Homepage ?
- Newsletter ?
- Ein Spaziergang durch die Atomphysik mit Dr. M. Ziegler  
Buchbeschreibung der 30 Experimente?

- ???????



Blick  
hinter die  
Phänomene  
mit Dr. M. Ziegler

1. Interferierende  
Kreiswellen

Interferenzerscheinungen sind ein  
Hauptmerkmal der Wellenlehre. Sie  
entstehen durch Überlagerung von  
gleichartigen, kohärenten Wellen.  
Dieses Buch führt Sie in die  
Welt der Wellen und zeigt Ihnen  
die schönsten Beispiele für  
Interferenzerscheinungen.  
In diesem Buch werden Sie  
mit den Grundlagen der Wellenlehre  
und der Interferenzerscheinungen  
bekannt gemacht.



### 4.3. Wer führt die Workshops durch ?

Charlotte Rummel kennt alle Versuche

.....

.....

M. Ziegler bietet Hilfe an

#### 4.4. Wie sieht die Weiterentwicklung des Atomlabors aus?

- Verkleinerung der Versuche im Campus 9 (Photoeffekt)  
16 (Zeeman)
- Halterung zu Elektronenröhren
- Einrichtung von 17 und 30
- Kauf von Strichgittern (momentan Leihgabe MZ)
- Exponate 1 und 2 im Campus gehören zur Atomphysik

