

Das Münchner Internetprojekt zur Lehrerfortbildung (milq) in der 10. Klasse

Bernadette Schorn und Hartmut Wiesner Technische Universität Dresden Ludwig-Maximilians-Universität München





Bildungstheoretische Begründung für die Unverzichtbarkeit der Physik für die Bildung der Menschen:

Philosoph und Pädagoge Theodor Litt in "Naturwissenschaft und Menschenbildung" ³1959





Aus wissenschaftstheoretischer und philosophischer Analyse des Verhältnisses der untrennbaren Trias Subjekt – Methode - Objekt folgt, dass sich im Prozess der Anwendung der Methode der Naturwissenschaften sowohl die Wirklichkeit als auch der Mensch verändern.





Der Mensch wechselt – in den Worten von Litt - von "schauender Welthingabe" zur "rechnenden Weltbemeisterung" und zurück.

Diese beiden Seinsweisen des Menschen stehen in einem antinomischen Verhältnis.

Eine harmonische Ordnung kann im Menschen nur durch eine Reflexion über die Art, den Wert und die Grenzen des naturwissenschaftlichen Weltzugangs hergestellt werden.





"Die 'bildende' Funktion der exakten Naturwissenschaft ist nicht schon dadurch hinlänglich garantiert, daß sie von dem zu Bildenden sachgemäß angeeignet und sachverständig ausgeübt wird. Er muss auch dahin gelangen, sie zu den anderen um seine Seele werbenden Mächten so ins Verhältnis zu setzen, dass er weder an ihrem Wahrheitswert und ihrem Lebensrecht irre wird noch auch sie auf Kosten und zum Schaden aus anderer Wurzel Wachsenden auswuchern läßt. Dazu aber bedarf es jener Reflexion, die ... sie von höherem Standort aus als Glied des übergreifenden Lebensganzen ins Auge faßt."

(Litt ³1959)





M.a.W.: Die **bildende** Wirkung der Naturwissenschaft kann sich also nur entfalten, wenn eine wissenschaftstheoretische Reflexion **über** Physik erfolgt, die Schülerinnen und Schüler also nicht nur Physik sondern auch **über** Physik lernen.

Der Physikunterricht muss ein angemessenes Bild der Wissenschaft Physik vermitteln.

(s. auch M. Wagenschein, W. Jung, ...)





Welcher Inhaltsbereich der Physik ist am besten geeignet, das Lernen über Physik als Voraussetzung für eine bildende Wirkung der Physik zu erreichen?

Antwort: Die Quantenphysik und hier insbesondere die Deutungsdebatte!

Diese erzwingt eine wissenschaftstheoretische Reflexion.





Die Bemühungen zur Verbesserung des Quantenphysikunterrichts lassen sich auch fundiert bildungstheoretisch begründen!





Was müssen wir bei Aktivitäten zur Verbesserung des Unterrichts über Quantenphysik beachten?

1a) Einschränkungen durch ungenügende Qualifikation der Lehrkräfte im Studium – erforderlich ist eine Ergänzung der formalen Betrachtungen durch ausführliche Diskussion, was die Ergebnisse bedeuten.





1b) Berücksichtigung der zunehmend schwierigeren Rahmenbedingungen

Leistungskurse abgeschafft

Physikgrundkurse konkurrieren mit Astrophysik und Biophysik.

Ein großer Teil der Schülerinnen und Schüler hat nach der 10. Klasse keinen Physikunterricht mehr, die Einführung in die Quantenphysik erfolgt für sie ausschließlich in der 10. Klasse.

Für einen großen Teil der künftigen Akademiker sind dann die Möglichkeiten einer Bildungsarbeit in und über Physik abgeschlossen!

Mangelhafte fachliche Voraussetzungen (Wellen? ...)





1c) Nutzen neuer Möglichkeiten

Seminarkurse bieten eine neue Möglichkeit, die an grundlegenden Fragen der Naturerkenntnis interessierten Schülerinnen und Schüler anzusprechen durch Kurse mit einem Schwerpunkt in der Deutungsproblematik.

Überlegungen von Born zur klassischen Mechanik; Ensembledeutung als "philosophiearme" Interpretation bis hin zur Bohr'schen Version der Kopenhagener Interpretation mit einem Ausblick auf Heisenbergs Überlegungen.





1d) Berücksichtigung von Lernschwierigkeiten in Schule und Hochschule

Untersuchungen über Vorstellungen nach Unterricht/Lehre über Quantenphysik haben erhebliche Verständnisschwierigkeiten nachgewiesen.

Z.B. dominiert auch nach dem Unterricht über Quantenphysik ein klassischer Laplace'scher Determinismus.

Die Ideen der Newton'schen Dynamik werden bei den Schülerinnen und Schülern aufgrund der Beschäftigung mit der Quantentheorie ersetzt durch die Annahmen der klassischen statistischen Mechanik.





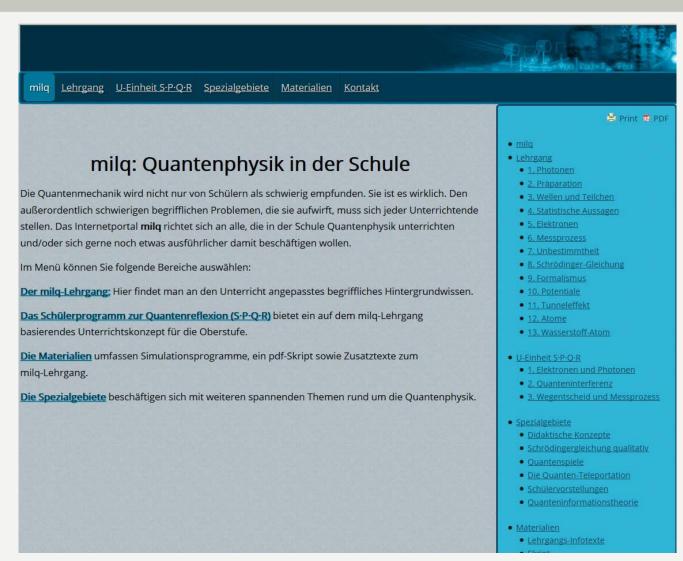


1e) Realistische Anforderungen





Das Projekt milq für die Oberstufe und die Lehrerfortbildung







Hintergrund

Quantenmechaniken von Günther Ludwig (Marburg), L.E. Ballentine, D. Blochintzew, ...

M. Jammer: The Philosophy of Quantum Mechanics

Speziell für die Konzeption von milq:

L. Eisenbud: The Conceptual Foundation of Quantum Mechanics





- Herausstellen des Gegensatzes zur klassischen Physik
- Bereitstellen klarer Begriffe
- Born'sche Wahrscheinlichkeitsinterpretation
- Verwendung der Ensemble Interpretation als "Basisinterpretation"
- Eigenschaftsbegriff: dynamische Eigenschaften wie Ort, Impuls, kinetische Energie, ... können Quantenobjekten nicht immer als vorhanden zugedacht werden.
- Messprozess: Der Unterschied zwischen "eine Eigenschaft haben" und eine "Eigenschaft messen" ist fundamental in der Quantenphysik (Eisenbud).
- Hinführung zum Formalismus (für Leistungskurse und für Lehrkräfte)
 (R. Müller, 2003)





Teil 1 (Photonen)

Photoeffekt
Präparation dynamischer
Eigenschaften
Mach-Zehnder Interferometer
Wellen- und
Teilcheneigenschaften
Eigenschaft "Ort"
Wahrscheinlichkeitsinterpretation

Teil 2 (Elektronen)

Elektronenbeugung
Doppelspaltexperiment
Y und seine Interpretation
Eigenschaft "Ort"
Messprozess
Schrödingers Katze
Unbestimmtheitsrelation (Güte einer Präparation)





Empirische Ergebnisse zum Lernerfolg: Die Ziele von milq werden in der Oberstufe im Wesentlichen erreicht





Unterrichtskonzept zur Quantenphysik für die 10. Jahrgangsstufe

Workshop der Heisenberg-Gesellschaft Schloss Lautrach 11. - 13.07.2014



Unterrichtskonzept

 Empirische Untersuchung und Ergebnisse der Haupterprobung

Diskussion

Einführung von Wellen

Bahnkurve in der Klassischen Physik

Bahnkurve im E-Feld

 Doppelspaltversuch mit klassischen Teilchen

Doppelspaltversuch mit Elektronen

Merkwürdigkeiten der Quantenphysik

Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation

Anwendungen der Quantenphysik

Einführung von Wellen



Definition einer Welle:

"Unter einer Welle versteht man eine sich räumlich und zeitlich ausbreitende Störung."

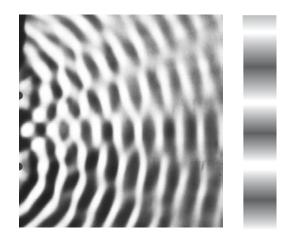
Beispiele für mechanische Wellen: Seilwelle, Wasserwelle, Schallwelle

⇒ Transversalwelle, Longitudinalwelle



Interferenz (qualitativ):
 Überlagerung zweier oder mehrerer
 Wellen

• Interferenzmuster:

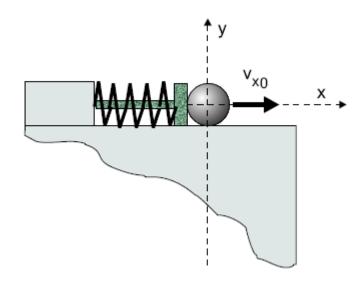


Einführung von Wellen

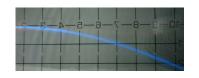


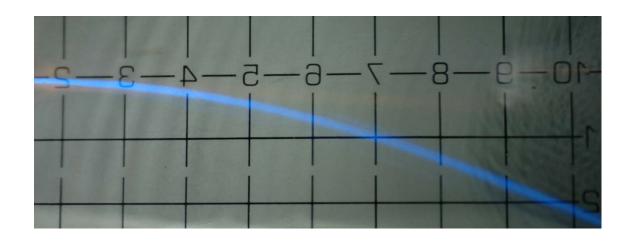
Beugung (qualitativ):
 Wellen können sich auch hinter Hindernissen oder Öffnungen ausbreiten



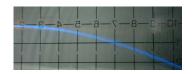


In der Klassischen Physik können Körpern die Eigenschaften "Ort" und "Geschwindig-keit" ohne Probleme zugeschrieben werden.





In der Quantenphysik können Elektronen die Eigenschaften "Ort" und "Geschwindig-keit" scheinbar auch zugeschrieben werden.



Jedoch Beobachtung:

Die Bahnkurve der Elektronen ist im Verhältnis zur Größe des Elektrons sehr breit!

Kann ich hier wirklich von der Eigenschaft "Ort" sprechen?



 Film über Realexperiment des Doppelspaltversuchs mit Elektronen





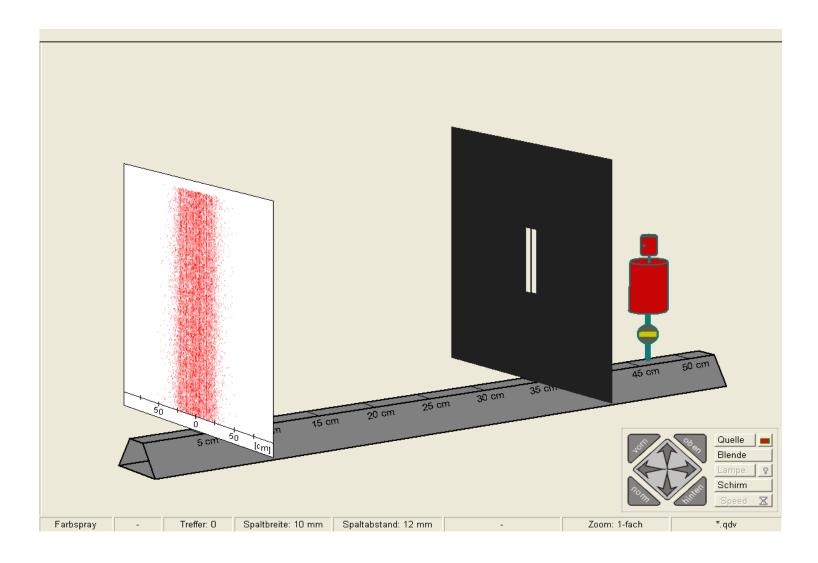


Beobachtung: Interferenzmuster auf Schirm

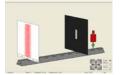
Entspricht dies den Erwartungen?

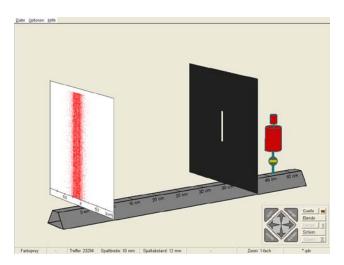


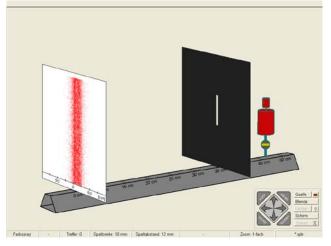




Doppelspaltversuch mit klassischen Teilchen

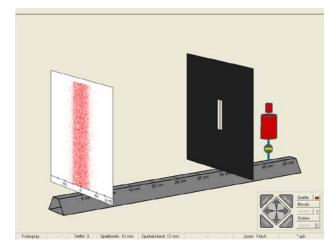






 $P_1(x)$





$$P(x) = P_1(x) + P_2(x)$$

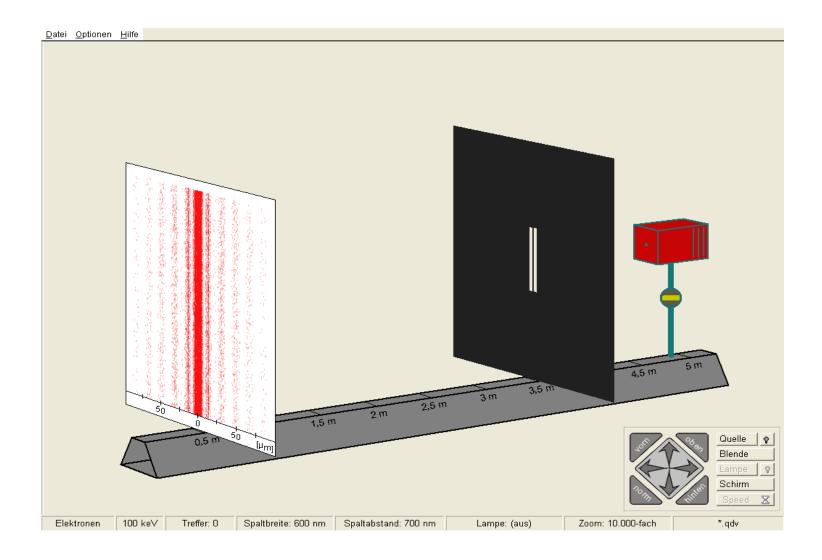


 Die Farbpartikel gehen entweder durch Spalt 1 oder Spalt 2

> ⇒ Farbpartikel besitzen die Eigenschaft "Ort"

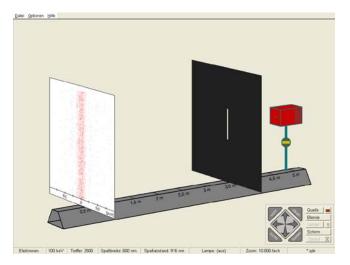
Doppelspaltversuch mit Elektronen

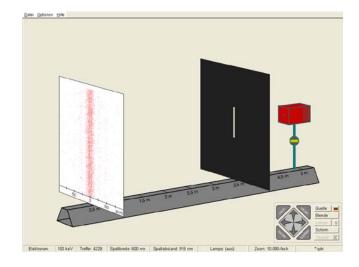




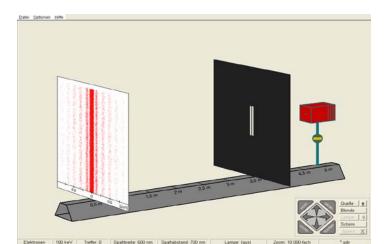
Doppelspaltversuch mit Elektronen







 $P_1(x)$



$$P_2(x)$$

$$P(x) \neq P_1(x) + P_2(x)$$



 Man kann nicht mehr sagen, dass die Elektronen entweder durch Spalt 1 oder Spalt 2 gehen

> ⇒ Elektronen besitzen <u>nicht</u> die Eigenschaft "Ort"



 Die Auftrefforte auf dem Schirm lassen sich für einzelne Elektronen nicht vorher sagen

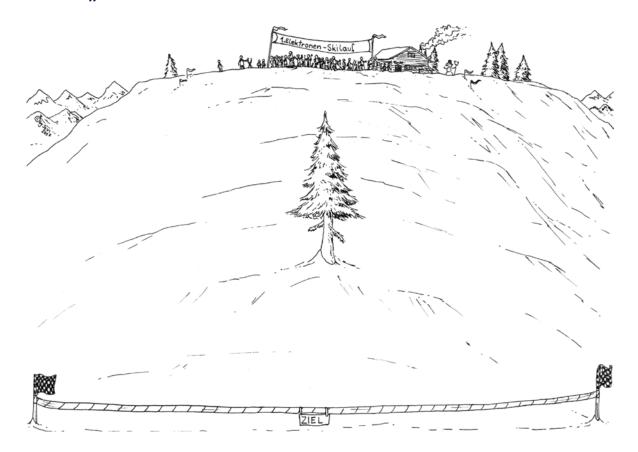




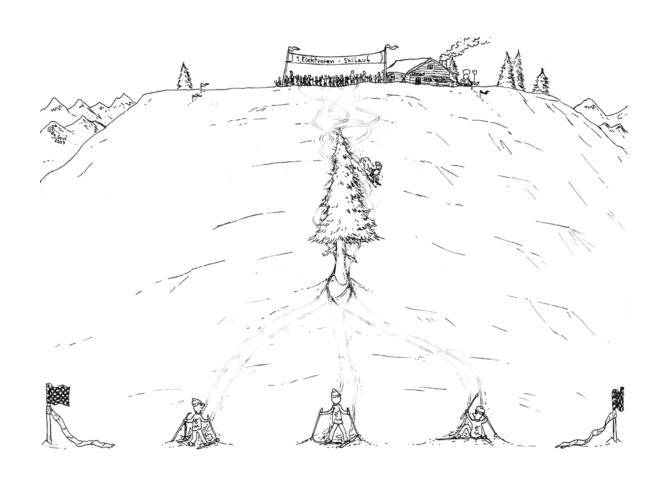
⇒ Übergang zur Wahrscheinlichkeitsaussage!



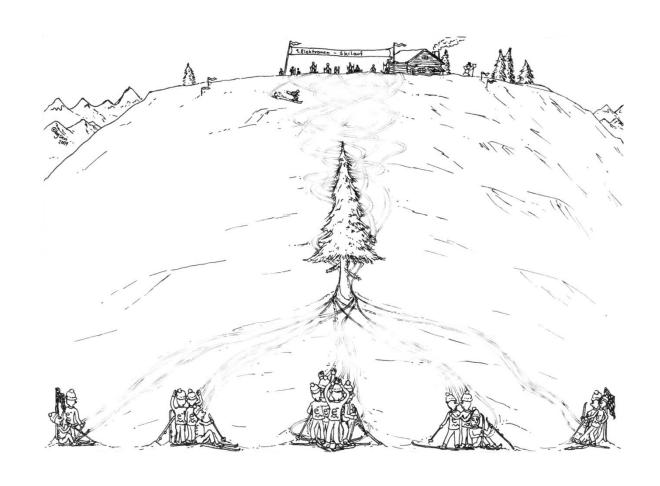
 Zusammenfassung der Ergebnisse am Cartoon "Skifahrer" …





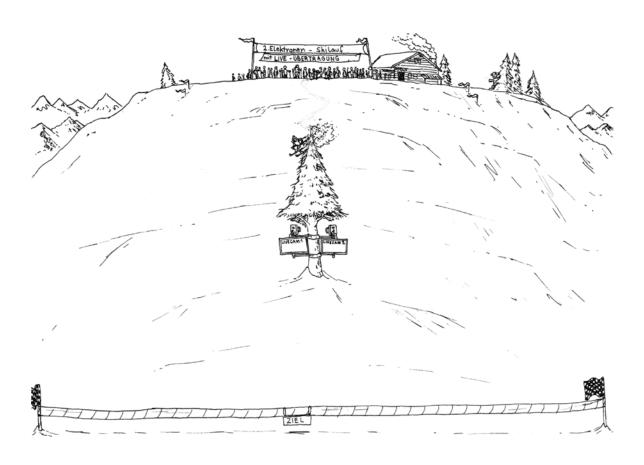




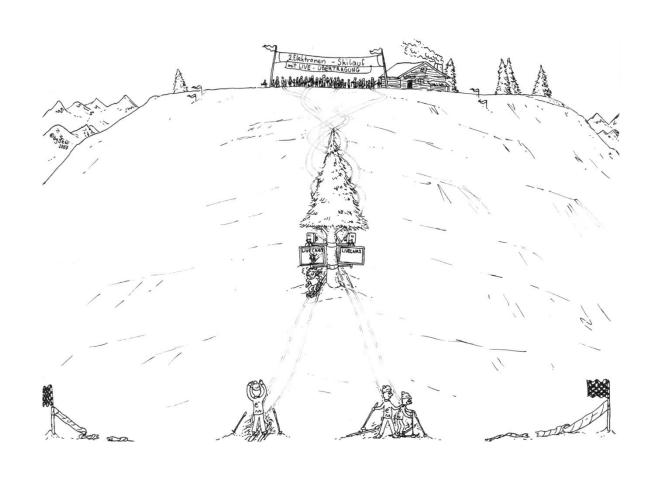




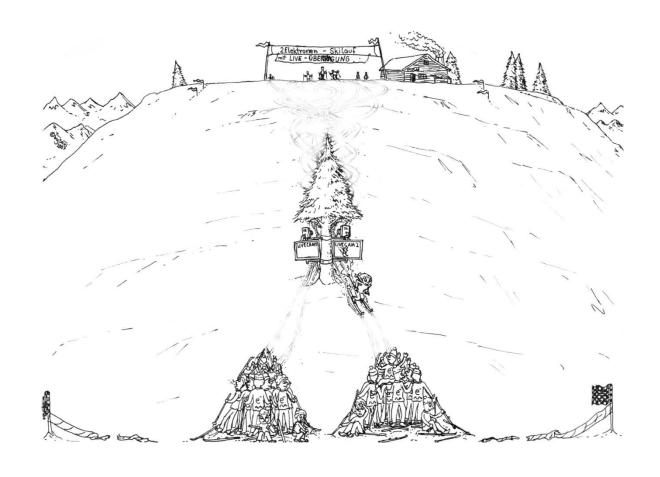
...und Hinführung zum Doppelspaltversuch mit Lampe



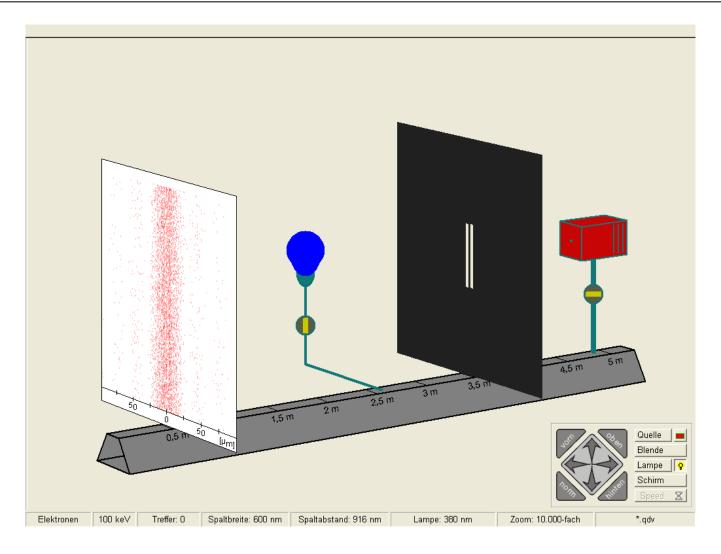








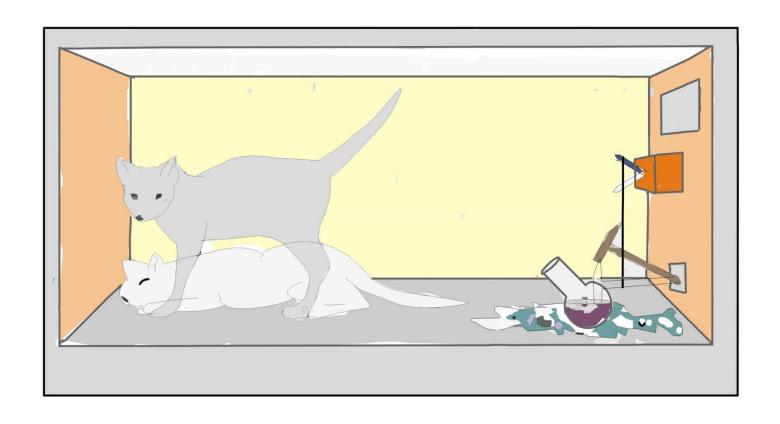


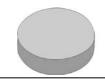




 Unterschied zwischen dem "Messen von Eigenschaften" und dem "Besitzen von Eigenschaften"

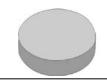








- Begriff der Präparation:
 Verfahren, mit dem Objekte in einen bestimmten Zustand gebracht werden.
 - ⇒ physikalische Systeme mit bestimmten Eigenschaften

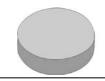




Wann besitzt ein Objekt eine Eigenschaft?

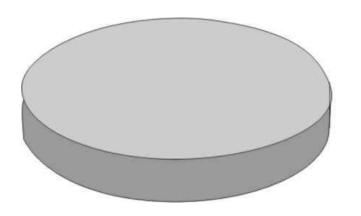
Messreihe für eine Eigenschaft:

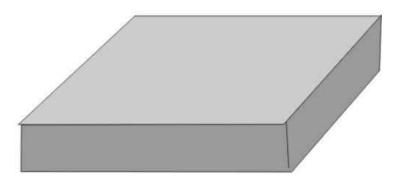
- ein und derselbe Messwert
- ⇒ Objekte besitzen die Eigenschaft
- unterschiedliche Messwerte
- ⇒ Objekte besitzen nicht die Eigenschaft



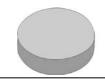


 Eigenschaften "Seitenlänge" und "Durchmesser"

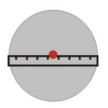


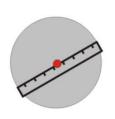


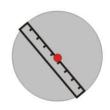
Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation





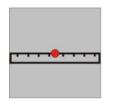


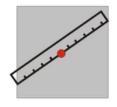




Messwerte streuen nicht

 \Rightarrow besitzen die Eigenschaft Durchmesser

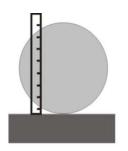


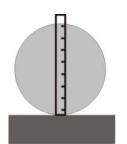


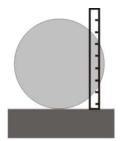


Messwerte streuen

⇒ besitzen nicht die Eigenschaft *Durchmesser*

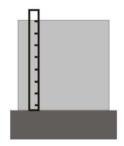


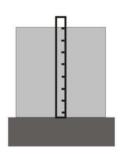


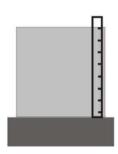


Messwerte streuen

 \Rightarrow besitzen nicht die Eigenschaft Seitenlänge







Messwerte streuen nicht

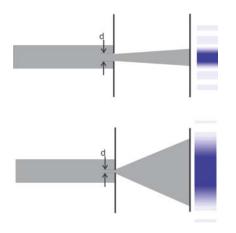
⇒ besitzen die Eigenschaft Seitenlänge

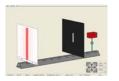




 Was passiert, wenn ich versuche zwei Eigenschaften zu präparieren?

Eigenschaften "Ort" und "Geschwindigkeit" ⇒ Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation





What the bleep do we (k)now!?



- anderes Quantenobjekt: Photon
 - ⇒ Photoeffekt, Doppelspaltexperiment

Allerdings <u>keine</u> Diskussion über die "Orts-" und "Geschwindigkeits-"Eigenschaften möglich!!!

Stichprobe

 14 Klassen an 5 bayerischen Gymnasien (N = 351)

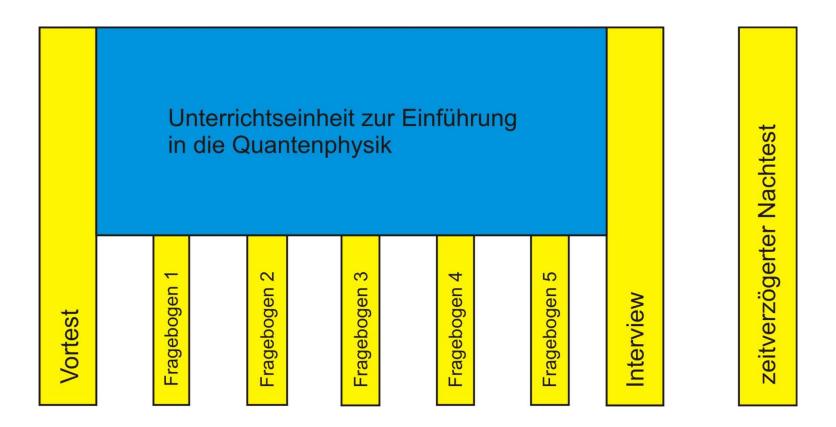
 Naturwissenschaftlich-technologischer, sprachlicher, wirtschafts- und sozialwissenschaftlicher Zweig

Erhebungsinstrumente

- Teilstandardisierte Fragebögen mit Items
 - zur offenen und halboffenen Beantwortung
 - mit Antwortvorgaben

Teilstandardisierte Interviews

Untersuchungsdesign



Übergeordnete Fragestellungen

 Lernen die SuS die wichtigsten Inhalte der Unterrichtseinheit zur Einführung in die Quantenphysik?

 Sind die Inhalte der Unterrichtseinheit für die SuS interessant? Welche sind am (un-) interessantesten?

Übergeordnete Fragestellungen

 Sind die Inhalte der Unterrichtseinheit für die SuS verständlich? Bei welchen ergeben sich Verständnisschwierigkeiten?

 Interessieren sich die SuS für das Thema Quantenphysik? Wie ist dieses Interesse im Vergleich zu Gebieten der Klassischen Physik einzuordnen?

Vortest

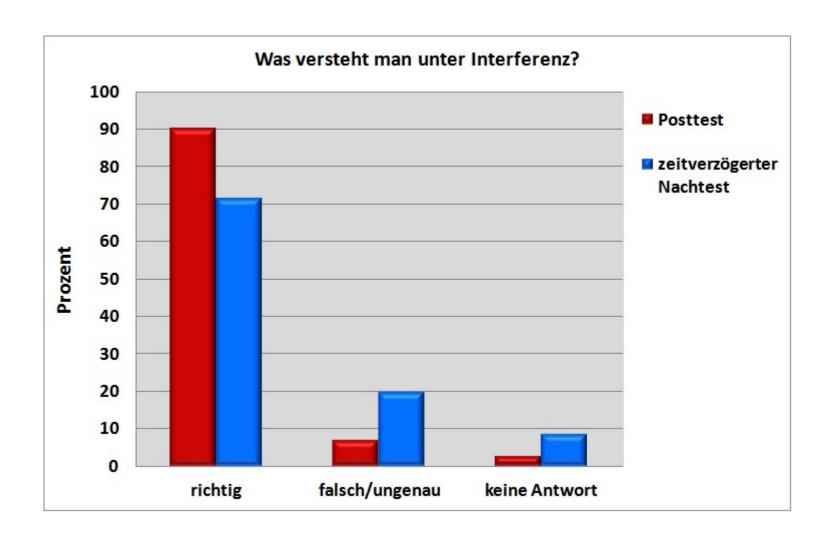
- ausgewählte Items zum Wissen über
 - Wellen
 - Besitzen der Eigenschaften "Ort" und "Geschwindigkeit" in der Klassischen Physik
 - zentrale Inhalte der Quantenphysik
 - → kein fundiertes Vorwissen

Posttests und zeitverzögerter Nachtest

- ausgewählte Items zum Wissen über
 - wichtige Grundlagen der Klassischen Physik

zentrale Wesenszügen der Quantenphysik

Haupterprobung – Kapitel 1

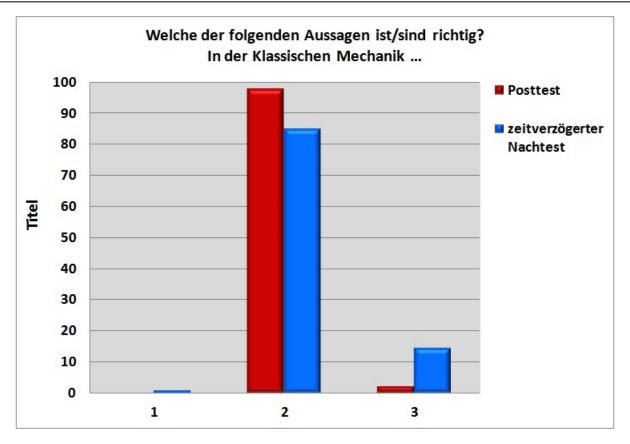


- "Die Experimente sind gut und anschaulich."
- "Skript ist toll: interessant und gut verständlich"
- "Ich hoffe es wird noch interessanter, bis wir bei Kapitel 5 ankommen!"
- "Ich will tiefer in die Quantenphysik rein!!!
 Der Anfang ist zu leicht!!!"

Haupterprobung - Kapitel 1: Sonstige Bemerkungen

- "Eigentlich find ich, dass es noch zu früh ist, für die Quantenphysik in der 10ten."
- "Ich halte die Quantenphysik für die Schule unpassend!"
- "Für die G8ler nicht notwendig, da die "normale" Physik ausreicht!"

Haupterprobung – Kapitel 2

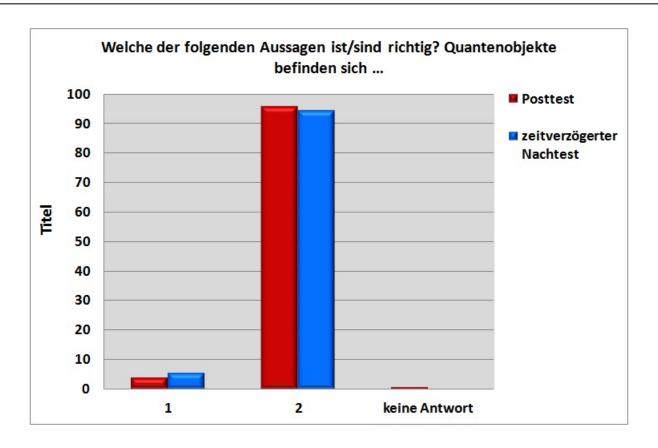


- 1: können Körpern die Eigenschaften "Ort" und "Geschwindigkeit" zu keinem Zeitpunkt zugeschrieben werden.
- 2: können Körpern die Eigenschaften "Ort" und "Geschwindigkeit" zu jedem Zeitpunkt zugeschrieben werden.
- 3: kann Körpern nur eine der Eigenschaften "Ort" und "Geschwindigkeit" zu jedem Zeitpunkt zugeschrieben werden.

Haupterprobung – Kapitel 2: Sonstige Bemerkungen

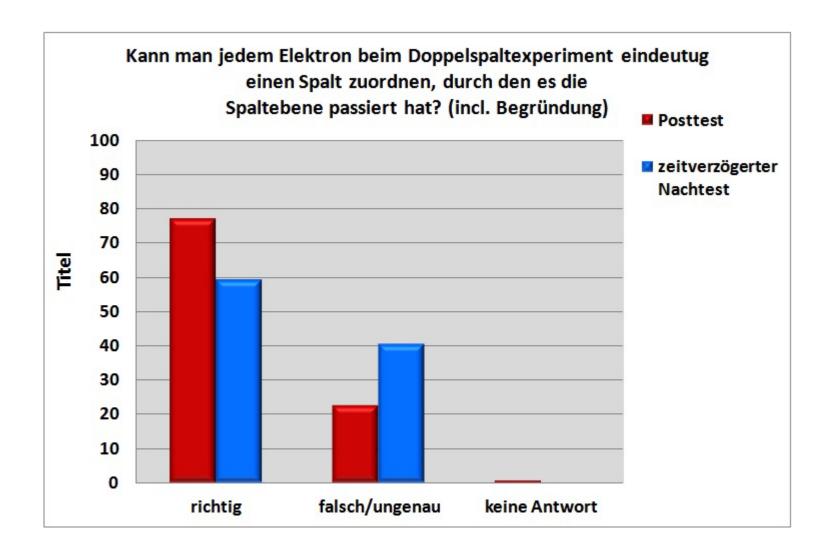
- "Alles gut zu verstehen und das Skript ist auch gut!"
- "Es herrschte ein bisschen Verwirrung, wozu wir allgemein bekannte Dinge bewiesen haben."
- "Hoffe es geht jetzt mit den Quanten los!"

Haupterprobung – Kapitel 3 (erster Teil)

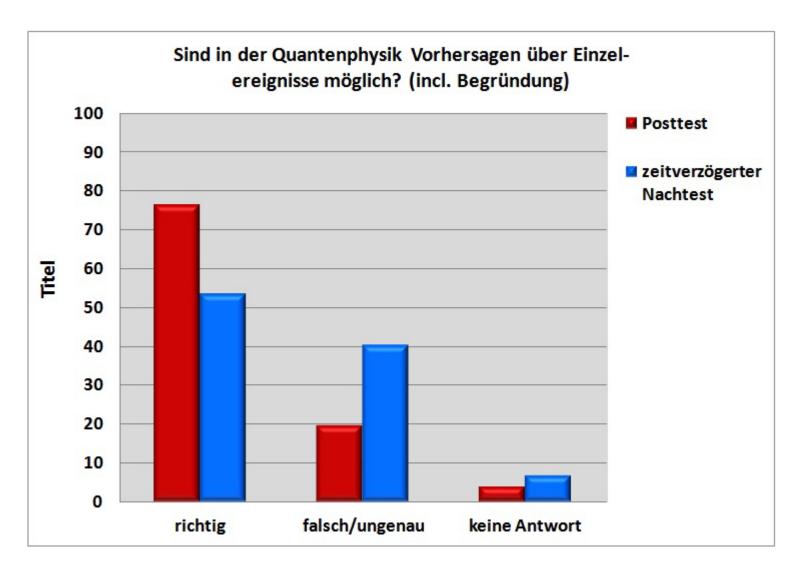


- 1: zu jedem Zeitpunkt an einem bestimmten Ort.
- 2: nicht zu jedem Zeitpunkt an einem bestimmten Ort.

Haupterprobung – Kapitel 3 (erster Teil)



Haupterprobung – Kapitel 3 (erster Teil)

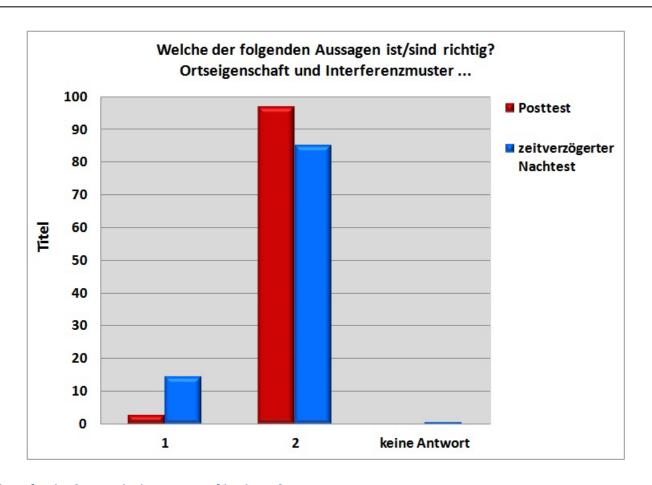


- "Der Unterricht mit den Versuchen am Computerprogramm war sehr anschaulich und man hat das Doppelspaltexperiment gut verstehen können."
- "Das Kapitel zum Doppelspaltexperiment war bisher am interessantesten."
- "Ich finde die Quantenphysik schon interessant, doch teilweise ein wenig kompliziert."

- "Man versucht irgendwie immer eine Lösung für den Ort zu finden. Ich finde das schwierig, weil ja doch die klassische Vorstellung überwiegt."
- "Mit der Quantenphysik lernt man die Physik mit ganz anderen Augen kennen."

 "Ich nehme es mir zwar täglich vor, aber mir fehlt, sobald man weiß, dass hier kein Notendruck/Leistungsdruck herrscht jede Motivation mich jetzt gut auf den Unterricht vorzubereiten, obwohl mich das Thema wirklich interessiert…"

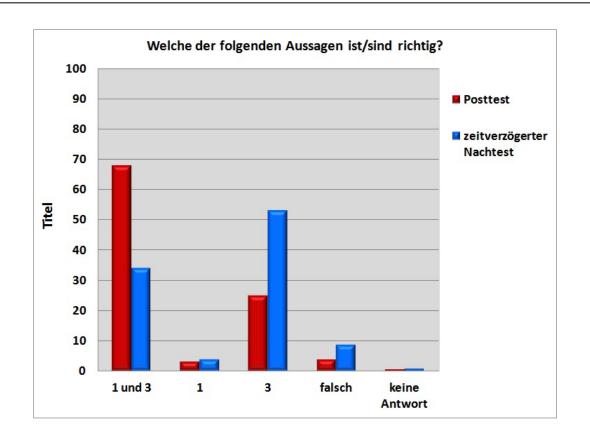
Haupterprobung – Kapitel 3 (zweiter Teil)



1: sind gleichzeitig realisierbar.

2: schließen sich gegenseitig aus.

Haupterprobung – Kapitel 3 (zweiter Teil)



- 1: Man kann an einem Quantenobjekt prinzipiell jederzeit die Eigenschaft "Ort" messen.
- 2: Quantenobjekte besitzen jederzeit die Eigenschaft "Ort".
- 3: Erhält man bei der Messung der Eigenschaft "Ort" einen Messwert, kann man daraus nicht schließen, dass das Quantenobjekt vor der Messung die Eigenschaft "Ort" besessen hat.

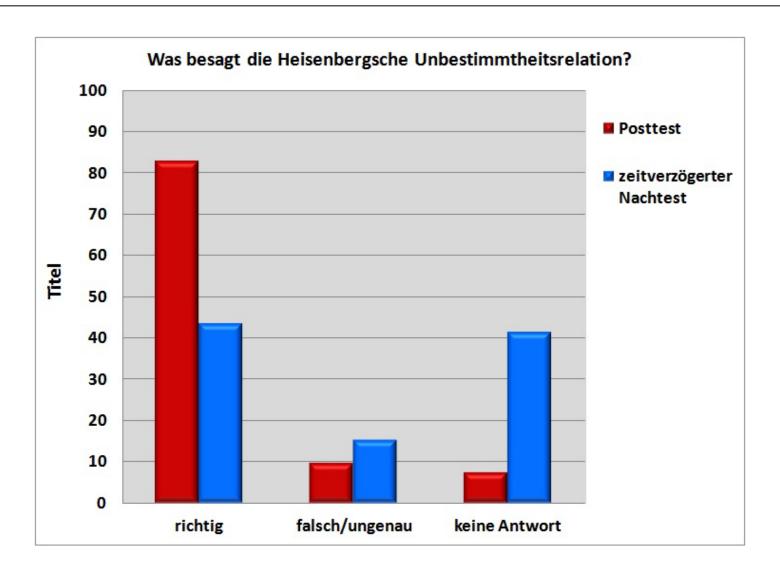
- "sehr anschauliche Beispiele (Elektronen-Skilauf, Schrödingers Katze)
 - ⇒ gutes Verständnis des Themas."
- "Vorher wars ja schon interessant (Doppelspaltexperiment), jetzt sehr interessant (anderes Verhalten bei Ortsmessung, Schrödingers Katze)."

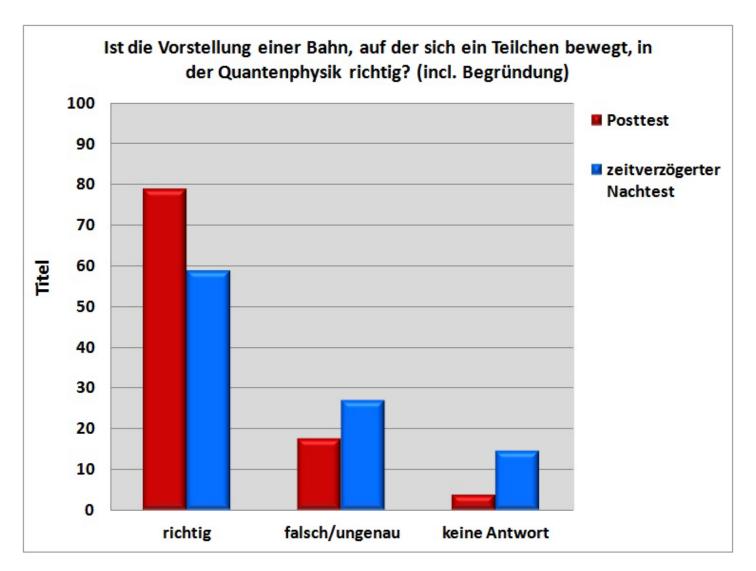
- Wer sagt, er hat die Quantenmechanik verstanden, der lügt!"
 - ⇒ es ist jedoch anzumerken, dass der Unterricht interessant und verständlich gestaltet wurde. Sehr gut!
- "Dosis facit venenum Übertreiben Sie es mit dem verwirrenden Stoff nicht!"

 "Hab ich das Thema jetzt verstanden, wenn ich's nicht verstanden hab!"

 "Die Quantenphysik ist in einigen Punkten sehr verwirrend. Aber auch irgendwie spannend und interessanter als die "normale" Physik!"

Haupterprobung – Kapitel 4





- "Ich fand sehr gut, dass im Unterricht sehr viele Medien benutzt wurden, da so der Stoff nicht so theoretisch vermittelt wurde! Auch macht dies den Unterricht abwechslungsreich."
- "Der Unterricht was sehr anschaulich und verständlich gestaltet! Es waren echt gute Physikstunden für solch ein schwieriges Thema."

 Am Anfang war es verständlich, zum Schluss nicht mehr so sehr."

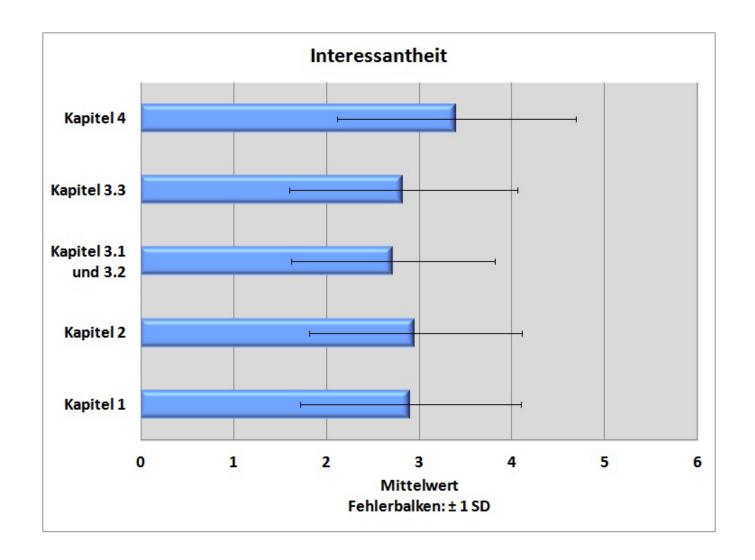
 "Das Thema Quantenphysik war recht interessant, allerdings könnte man die Themen mehr auf den Alltag beziehen. Somit wären sie für mich persönlich attraktiver."

Mehr Quantenphysik im Physikunterricht!!!"

- "Das Ganze war viel interessanter als die gesamte 9. Klasse in Physik."
- "Auch mit einer Freundin, die gerade Quali gemacht hat, habe ich mich über das Thema "Quantenphysik" (Wellen, Schrödingers Katze) unterhalten und festgestellt, dass auch sie das Thema interessant findet und durch das übersichtliche Skript auch sehr schnell verstanden hat."

 "Ich fand's toll, dass wir das machen durften, da ich mich über die erstaunten Gesichter einiger Freunde, die Physik studieren, amüsieren konnte (sie haben das höchstes in der Kollegstufe angesprochen bzw. dann im Studium)."

Haupterprobung – Interessantheit Inhalte



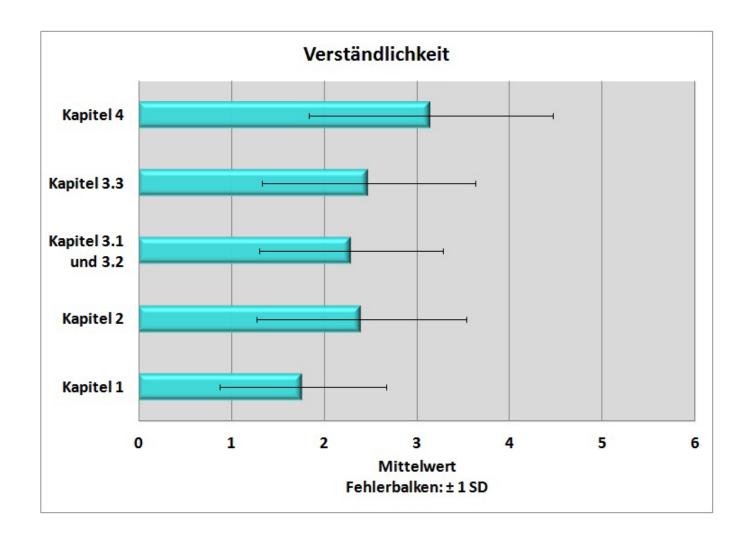
Interessanteste Inhalte

- Doppelspaltexperiment
- Wellen
- Elektronen-Skilauf
- Schrödingers Katze
- Verhalten von Quantenobjekten
- Interferenz(muster)
- Unterschiede Klassische Physik Quantenphysik
- Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation
- alle Themen

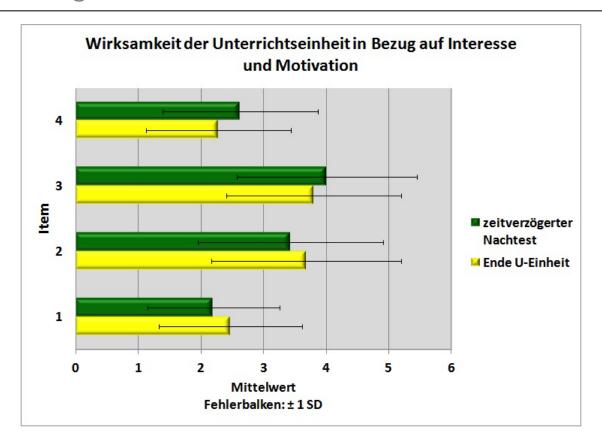
Uninteressanteste Inhalte

- Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation
- Wellen
- kein Thema
- Bahnkurve in der Klassischen Physik
- Elektronen-Skilauf
- Schrödingers Katze
- Doppelspaltexperiment
- Präparation

Haupterprobung – Verständlichkeit Inhalte

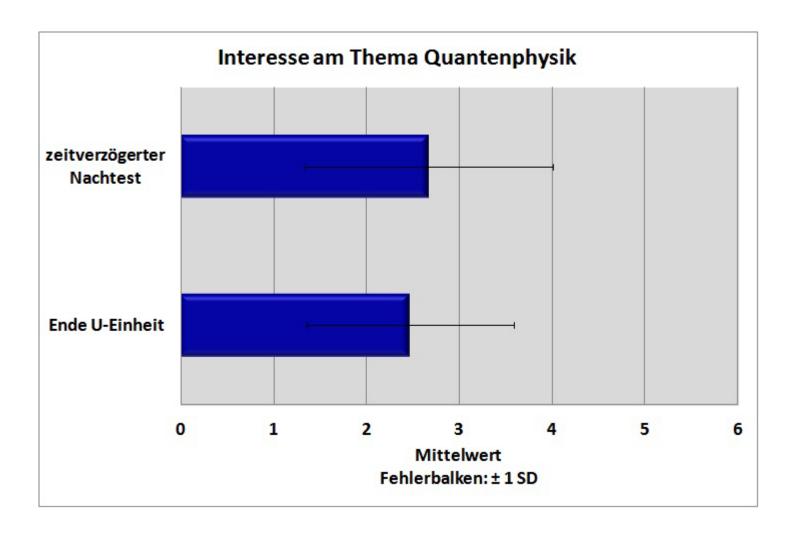


Haupterprobung – Interessantheit Unterrichtseinheit

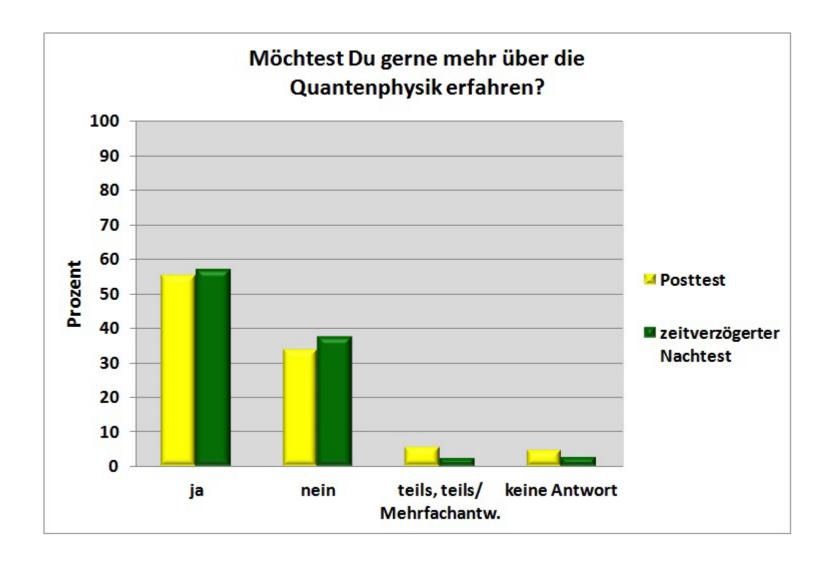


- 1: Der Unterricht über die Quantenphysik hat mir Spaß gemacht.
- 2: Ich habe auch außerhalb des Unterrichts über manche Sachen nachgedacht, die im Unterricht behandelt wurden.
- 3: Mein Interesse an Physik ist größer geworden, seit wir die Quantenphysik in der Schule besprochen haben.
- 4: Ich habe das Gefühl etwas über die Quantenphysik gelernt zu haben.

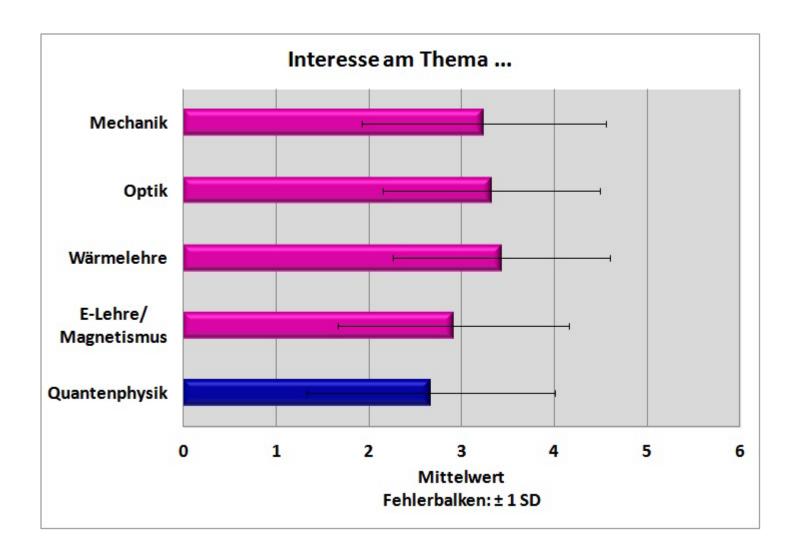
Haupterprobung – Interesse Quantenphysik



Haupterprobung – andauerndes Interesse



Haupterprobung – Sachinteresse



Zusammenfassung

- Die SuS der 10. Jahrgangsstufe haben auf der Grundlage der Unterrichtseinheit zur Einführung in die Quantenphysik auf einem qualitativen Niveau grundlegende Kenntnisse zu Inhalten der Klassischen Physik sowie der Quantenphysik erworben.
- Die erlernten zentralen Wesenzüge der Quantenphysik sowie wichtige Grundlagen der Klassischen Physik sind den SuS der 10. Jahrgangsstufe über die Dauer der Intervention hinaus bewusst geblieben.

Haupterprobung – Zusammenfassung

Zusammenfassung

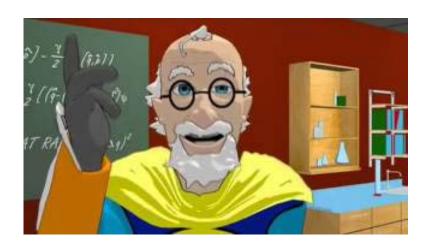
- Die Inhalte der einzelnen Kapitel der Unterrichtseinheit zur Einführung in die Quantenphysik sind für die SuS der 10. Jahrgangsstufe
 - interessant und
 - verständlich.

Haupterprobung – Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Die SuS der 10. Jahrgangsstufe interessieren sich für das Thema Quantenphysik.
- Das Interesse der Schülerinnen und Schüler der 10. Jahrgangsstufe am Thema Quantenphysik, einem Teilgebiet der Klassischen Physik, ist größer als an Teilgebieten der Klassischen Physik.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/archiv/inhalt_materialien/quantenphysik_sek1/index.html